

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК
СССР
НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНАЯ
СЕРИЯ

ФОТО СЪЕМКА

ПОД ВОДОЙ

76726
И. РОГОВ



А. Рогов

ФОТО-
СЪЕМКА
ПОД ВОДОЙ

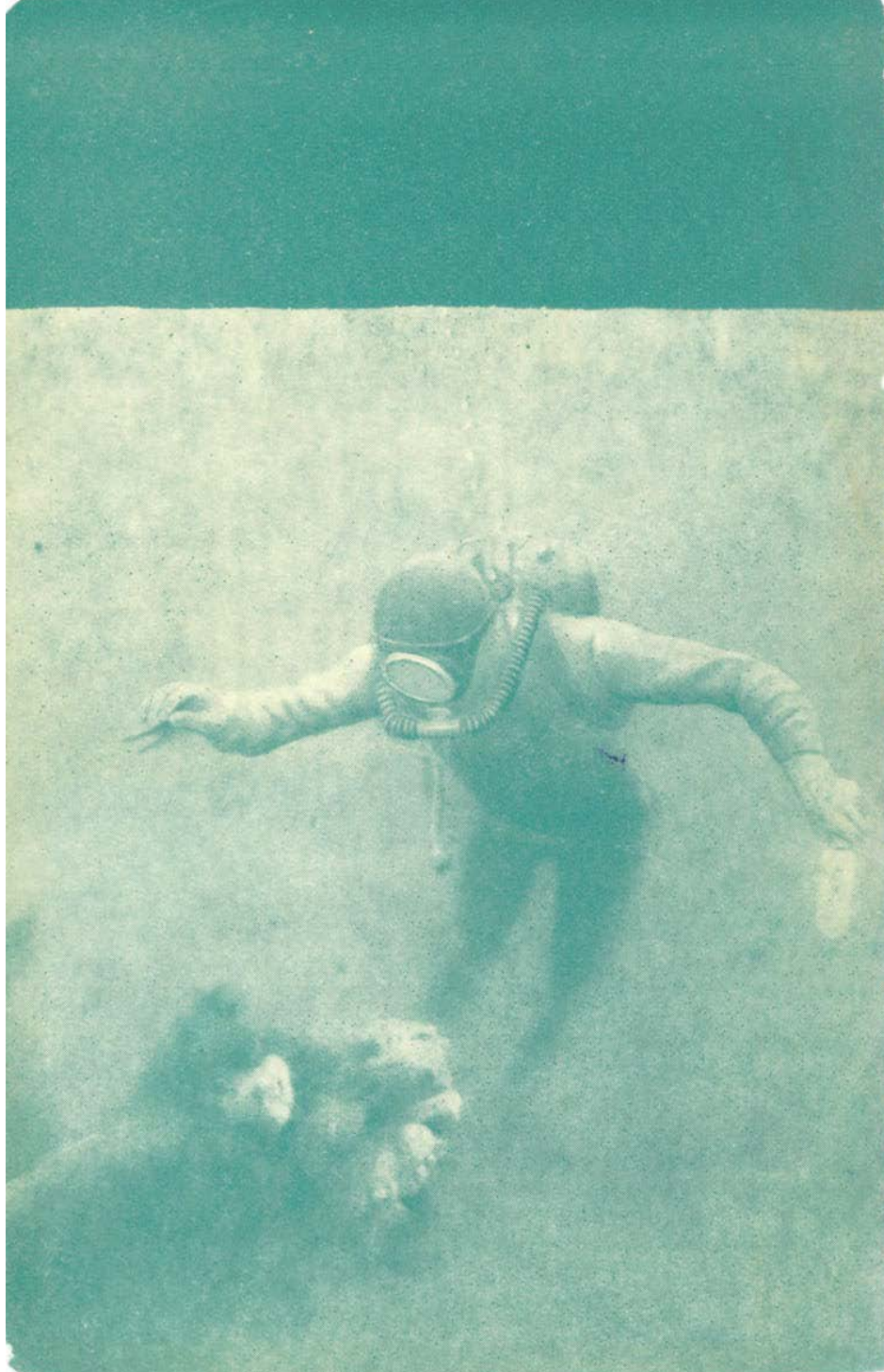
ИЗДАТЕЛЬСТВО

«НАУКА»

МОСКВА 1964

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНАЯ
СЕРИЯ



От автора

Успехи науки и техники в последнее десятилетие позволили по-новому оценить научное и практическое значение изучения океанских глубин. Перед океанологией встали новые огромные задачи. По справедливому замечанию известного советского геолога академика Д. И. Щербакова, в дальнейшем для исследования морей и океанов должны быть объединены усилия не только специалистов различных наук — биологов, геологов, химиков, физиков, математиков, но и представителей многих технических дисциплин.

Что же ищет человек в царстве Нептуна?..

Если взглянуть па Землю из кабины космического корабля, находящегося в полете, то взору представится голубой шар с вкраплением бурых и зеленых пятен. Бурые и зеленые пятна — это материки; голубой цвет — моря и океаны, занимающие три пятых поверхности нашей планеты.

Почти исчезли на географической карте материков белые пятна. Однако еще только создаются карты морского дна, еще только начинается подлинное изучение океанских глубин. Водолазы, опускавшиеся до стометрового рубежа, рассказывают о морских тайнах. Еще глубже проникают исследователи па гидростатах и батискафах; уже определены самые глубокие океанские впадины... Но все это лишь начало грандиозных работ в океанах и морях...

У человека много дел не только в открытом море или океане, но и в прибрежных районах. Инженерам-

строителям важно знать, почему разрушаются основания плотин, в какой грунт погружаются сваи причалов; спасателям — что стало с затонувшими кораблями и как их поднять; проектировщикам — где удобнее построить мосты между берегами; ихтиологам — где проходят косяки рыбы и как они живут. Организация нефтедобычи с морского дна поставила перед учеными и техниками сложнейшие задачи глубинного подводного бурения, создания на море искусственных островов. Возникают проекты искусственного подъема уровня в закрытых морях, изучаются проблемы использования морских приливов для получения электрической энергии.

При всех исследованиях в морях и океанах, кроме визуального обследования и наблюдения, ученым и техникам очень помогают подводные фотодокументы.

Подводная фотосъемка сравнительно молода. В отличие от обычной фотосъемки подводное фотографирование требует решения многих технических вопросов, связанных с физикой моря. Если ихтиолог, использующий подводную съемку для поисков в океане рыбы, нуждается лишь в глубоководной автоматической фотокамере, то гидротехнику, прикованному к строительной площадке, вынужденному зачастую фотографировать объекты в загрязненной прибрежной воде, требуется уже особая аппаратура. В первом случае возможность фотосъемки целиком будет зависеть от конструктивных особенностей и прочности подводной фотокамеры, во втором — в процессе съемки необходимо дополнительное оборудование, помогающее фотографировать в малопрозрачной воде.

Законы распространения света в воздушной и водной средах, как известно, различны. Рассеяние света на навешенных в воде частицах и при завихрении воды, вызываемом тепловыми перемещениями или течением, слабая освещенность и многое другое сильно услож-

няют фотографирование под водой. Следовательно, наряду с решением вопросов, связанных с конструкцией и эксплуатацией подводных фотокамер, при подводном фотографировании приходится решать проблемы освещения снимаемых объектов.

Цель этой книги — ознакомить читателей с существующей методикой подводной фотосъемки. Остановившись на проблемах, возникающих при проектировании боксов для фотокамер и осветителей, мы постарались дать характеристику отечественным фотобоксам и объективам, пригодным для съемок под водой. Фотолюбители смогут познакомиться и с основными вопросами подводной стереофотосъемки, а также фотосъемки в загрязненной воде. Начинающий в области подводного фотографирования найдет здесь необходимый минимум знаний физических законов распространения света в воде. В книге приводятся примеры решения экспозиционных задач, которые вставляли перед автором во время опытных работ экспедиций на Черном, Азовском, Белом, Японском и Каспийском морях.

Стремясь сделать книгу доступной широкому кругу читателей, знакомых с основами подводного фотографирования и имеющих представление о море и его обитателях, автор старался написать ее как можно популярнее, используя при этом как отечественные и зарубежные материалы, так и личный экспедиционный опыт.



Фото автора

С фотокамерой под воду

Заманчива и загадочна подводная жизнь...

Человек веками мечтал разгадать ее тайны и воспользоваться богатствами подводных глубин. Уже за тысячи лет до нашей эры искусные ныряльщики Цейлона доставали со дна океана жемчуг. Несколько столетий назад русские люди научились добывать водоросли, камушки, губки, устраивать деревянные заколы на дне глубоких рек для ловли раков. Астраханские рыболовы ныряльщики могли находиться под водой по нескольку минут, опускаясь на глубину до 20—30 м.

Многие тайны рек, озер и морей были открыты с развитием водолазного дела и созданием подводных кораблей. Сейчас в нашей стране сотни водолазов работают под водой, ремонтируя подводные части судов, поднимая затонувшие суда, сооружая плотины гидроэлектростанций, прокладывая кабели и трубы по дну морей и рек.

Ученые, изучающие подводный мир, с давних пор привлекали водолазов к своей работе. На глубины, не доступные водолазам, они опускали в море гидростаты, батисферы и различные приборы. При помощи тралов доставали с морского дна его обитателей, растения и грунт. Появление легководолазного снаряжения — акваланга — позволило привлечь к научным исследованиям уже не отдельных водолазов с их сложным, тяжелым и дорогим оборудованием, но и многих любителей водного спорта.

Во многом облегчило исследования морских пучин подводное фотографирование. Если раньше даже на не больших глубинах ученые были вынуждены знакомиться с подводным миром с помощью драг, тралов и других приборов, то теперь они могут сами опускаться в море и сами фотографировать исследуемые объекты. Взяв с собой фотокамеру, ученый может снимать именно то, что его интересует.

За последнее десятилетие подводные съемки приобрели новое качество: они стали доступны многочисленным исследователям. Правда, это не говорит о легкости их исполнения. Подводное фотографирование требует от исследователя смелости. Кроме того, он должен хорошо знать оборудование, применяемое для погружения под воду, методику и технику подводной съемки и разбираться в теоретических вопросах фотографирования. И, конечно, он должен иметь хорошее здоровье и в совершенстве владеть техникой подводного плавания.

Разнообразна деятельность подводного фотографа, разнообразны специальности подводных исследователей и природные условия, в которых им приходится работать. Расскажем о нескольких эпизодах из практики подводного исследователя, работающего с фотокамерой.

По следам древних городов

Таманский залив Черного моря упирается в плоский глиняный берег. Берег невысок, у самой воды лежит слой водорослей. В жарком мареве июльского солнца абрикосовые деревца лесозащитной полосы кажутся живыми существами. Они то висят и жарком воздухе, то упираются стволами в выжженную степь.

Холмистый берег уходит вдаль. Повсюду видны отвалы рыжей глины у квадратных ям. Это раскопы. Здесь работают археологи.

Очень давно, примерно две тысячи лет назад, на этой выжженной земле был цветущий город. Но со временем набеги кочевников, а также солнце и ветер разрушили его, причем большую часть города поглотило безжалостное море...

Подводный раскоп ведется недалеко от берега, на глубине не более трех метров. Размер колодца — $2 \times 2 = 4$ м². Края его укреплены деревянными подпорками. Археологи-подводники работают в воде с аквалангами, без гидрокостюмов. Вода прогрета солнцем до $+ 22 - 23^{\circ}$.

По утрам, когда вода в раскопе еще прозрачна, в деревянный подводный колодец первыми опускаются аквалангисты-фотографы. Погружаясь, они встреча-

ются со стайками бычков, которые, повиснув над грунтом в яме, неохотно уступают свое место. Щелкают затворы аппаратов, снимается все: края раскопа, дно и обнаруженные на дне предметы. Снимать с каждым днем все труднее: углубляется раскоп — уменьшается освещенность, труднее становится маневрировать.

После подводных работ фотографии идут в походную лабораторию обрабатывать негативы. Погода приносит огорчения: от жары плавится и ползет с пленки эмульсия, гибнут кадры. Приходится принимать особые меры, чтобы уберечь от нагревания съемочную технику, составлять тропические проявители. Для съемки в затемненных местах у подводников есть подводная лампа-вспышка. Но вот подмокли батареи. Где добыть запасные? Вокруг степь.

Множество задач встает перед подводным фотографом. Кроме чисто фотосъемочных проблем, приходится решать и вопросы погружений в воду, снабжения и т. д. А работа не ждет...

С аквалангом у Полярного круга

Группа спортсменов-подводников совместно с учеными Карельского филиала Академии наук СССР готова начать подводные исследования в глубинах Белого моря. Они одеты в гидрокомбинезоны, которые должны защитить водолазов от холодной воды. Ее температура на поверхности в лучшем случае +14 - 16°.

Первое погружение. Прохладно, слегка знобит, но зато какой прекрасный подводный мир предстает перед глазами! Разнообразная и красочная растительность, необычный животный мир. В Черном море такого подводного пейзажа не встретишь.

Крутые скалистые берега, уходящие вглубь на 70 — 80 м, густо поросли водорослями. Скалы усыпаны морскими звездами и актиниями. В воде колышутся низкорослые зеленоватые фукусы, ветвистые багрянки, обширные заросли бурых ламинарий. Вот толчками проплывает огромная фиолетовая медуза, ее «хвост» — щупальцы — раскинулся почти на 2 м. Горе мелким рыбешкам, попадающим в эти сети...

В первые минуты мы забываем, что в руках у нас фотоаппараты и что наверху ждут от нас первых снимков. Ищем объект для удачного кадра. Неожиданно в стороне метнулась длинная тень — это треска длиной в добрый метр спешит скрыться в глубине. Очевидно, она приняла аквалангиста за своего врага — тюленя. Изящно проплыв над кустом ламинарии, плоская камбала опустилась на камень и «исчезла», приняв защитную окраску. Но место, где она скрылась, замечено. Вот и камень, на нем видны светлые прожилки по темному граниту. Пальцы рук замерзли, по затвор аппарата щелкает раз, другой — камбала как будто приросла к своему ложу. В аппарате цветная пленка, и мы заранее радуемся снимкам.

Плывем над каменистой отмелью. На ней колония мидий — моллюсков, усеявших дно. В черно-перламутровый тон раковин яркими оранжевыми пятнами вкраплены морские звезды. Хищницы уже опустошили большую часть поселения мидий — пустые створки ракушек поблескивают в голубой воде. На цветную пленку запечатлен еще один эпизод подводной жизни...

В фотолаборатории выявляются результаты съемки. Они не так радуют нас, как подводные картины. Не все то, что видит глаз человека, «видит» объектив фотокамеры. Камбала, лежавшая на камне, совершенно не видна на негативе. Хорошо получились рыбки, снятые снизу на светлом фоне водной поверхности. Отчетливо видны яркие морские звезды на темном фоне ракушек. Хороших снимков на первый раз набирается всего 10—15% (от общего количества). Но мы знаем, что опыт не приходит сразу...

С фотокамерой под лед

Рыболовный бот медленно обходит разрозненные льды, стараясь не задеть их острые подводные бока. Катер то описывает пологую дугу вокруг ледяного поля, то пятится назад, попав в ловушку, то, бойко затарахтев мотором, делает рывок вперед.

В бинокль отчетливо видно, что лед в заливе неплотный, много свободной воды, которая на ярком бело-

голубом фоне льда кажется синей и густой. Иногда на льдине появляется усатая иссиние-черная голова тюленя. При приближении катера тюлень ныряет в воду, явно недовольный вторжением людей.

Научные сотрудники Беломорской биологической станции совместно с московскими специалистами проводят подводные съемки. Их интересует нерест сельди. Работать приходится в тяжелых условиях. Нерест беломорской сельди начинается в то время, когда заливы Белого моря еще скованы льдом, а заканчивается во время таяния льда.

Но вот позади три недели этих необычных подводных съемок, а в памяти долго еще живут впечатления наших первых подледных погружений.

Температура воды у поверхности (- 1) — (+ 2) °С*. Опускаясь первый раз в прорубь, мы ожидали, что холод помешает работе. Но резиновые гидрокостюмы и теплое шерстяное белье надежно защищали нас от его ледяных объятий. Сквозь толщу воды в окне проруби видны лица товарищей. А вокруг пас бурлит суетливая весенняя жизнь. Бычки-керчаки в брачном наряде, пестрые, как петухи, важно плавают среди водорослей. Морские звезды и актинии на камнях уже не вызывают такого восторга, как при первом знакомстве.

Спешим на нерестилище. Лед пропускает мягкий голубой свет. Здесь достаточно светло для фотосъемок на черную, высокочувствительную пленку. Внезапно перед нами встала изумрудная стенка света — это солнце прорвалось сквозь трещину льда. В таких местах можно использовать и вторую фотокамеру с цветной пленкой. На нерестилище — отмели, покрытой морской травой — зостерой, на которую рыба выметала икру, встречаем старых знакомых: бычков и камбалу. Бычок, лежащий у затонувшей коряги, вполне подходящий объект для съемки; его пестрый весенний наряд и огромная голова видны отлично. С камбалой нам придется потрудиться. Зная ее способность маскироваться, совершенно сливаясь с окружающим фоном, мы гоняем рыбу в воде, не давая ей опуститься на дно. Нам

* Морская вода из-за насыщенности солями замерзает при отрицательной температуре (-3) — (-4)°С.

удастся сфотографировать камбалу силуэтным снимком на фоне ледяного покрова. После фотосъемок приходится перестрелять всех замеченных хищников, «пасущихся» на нерестилище.

Обработка негативного материала показала, что подледная фотосъемка на пленках высокой чувствительности дает хороший результат. Труднее проводить цветные подледные съемки, однако, если солнечный свет проникает через полынью под лед, можно снимать и на цветную пленку.

Неожиданная встреча

Как-то осенью группа аквалангистов-гидротехников работала в одном черноморском порту. Они проводили обследование внешней стороны оградительного мола, сооружаемого из массивных плит, а также искали следы затонувших бомб и торпед. Дело в том, что в Отечественную войну южные порты Черного моря неоднократно подвергались торпедным атакам с воздуха и с моря. Давно отгремели взрывы, восстановлены разрушения, но проклятая война нет-нет, да и напомним о себе.

Погрузившись в воду у оградительного мола, инженеры-гидротехники должны были сфотографировать подводные приборы (датчики давления воды), установленные в бетоне стены. Неожиданно один из нас заметил в стороне какой-то предмет, и все решили осмотреть его. Проплыв под водой 10 — 15 м, отряд исследователей повис над бетонной глыбой, выброшенной взрывом в море. Из-под накренившегося обломка волнолома торчал стабилизатор боевой торпеды. Бурая ржавчина и водоросли покрывали ее хвостовик. Застыли неподвижно винты, погнулось рулевое управление. Мирно плавали зеленухи над куском ржавого железа, при нашем приближении скрылись боком среди винтов и водорослей крабы. Нам не верилось, что рядом притаилась смерть. Дальше плыть было опасно. Мы сфотографировали семиметровую стальную сигару. На две трети она ушла в грунт. Каждым из нас старался получить запечатлеть увиденное: эти снимки помогут специалистам обезвредить торпеду.

В мутной воде

Однажды в другом южном порту также велись подводные работы. Погода не баловала исследователей — было холодно и ветрено. Море штормило, и вода в порту казалась особенно мутной. И вот в таких условиях гидротехникам предстояло обследовать огромное, далеко выдвинутое в море причальное сооружение.

Торцовую часть причала тогда еще не сдали в эксплуатацию; там, где должна быть построена железобетонная набережная, из воды торчали колонны-оболочки длиной каждая по 25 м и диаметром немного более 1,5 м. Эти колонны специальным погружателем загоняют в грунт. Если колонна при погружении наткнется на каменистую гряду, она деформируется. Появляются «волосяные» трещины, которые под водой едва заметны. И хотя водолазы тщательно осматривают каждую опору после погружения, по всегда это обследование дает точные данные.

Водолазы, собравшиеся около нашего оборудования, шутили: «Приехали снимать колонны под водой!»,—и многозначительно показывали на мутную воду, на поверхности которой плавали щепки и обрывки веревок. В такой воде не только интересующего объекта, но собственных рук не было видно. Волны гулко хлопали по бетонным плитам настила, под сводами причала было сумрачно и глухо.

Но все же мы пошли на погружение. Под водой слышны многоголосью шумы порта. Рядом прошел буксир, где-то сильно ударили по железному листу, и кажется, что рядом упал медный котел. Ощупью по колонне-оболочке мы опускались все ниже и ниже. Нас встречала темнота. Но если удавалось вплотную приблизить маску к колонне, то можно было увидеть, что вся она обросла мидиями. Этот покров оказался рыхлым и легко отделялся от колонны. Среди ракушек — другие подводные обитатели порта: краб и бычок. Увидев нас, они заспешили прочь.

Для съемки в мутной воде мы приготовили контейнер, напоминающий усеченную пирамиду. Эта пустотелая коробка имеет стеклянные основания — малое и большое; малое стеклянное основание прикреплено

к фотокамере, а большое мы прижимаем к снимаемому предмету. Внутри контейнера — дистиллированная вода, она является как бы прозрачным несжимаемым фильтром.

Контейнер позволяет снимать в совершенно мутной воде. Две лампы (каждая по 1000 *вт*) пробивают облако муты. Впечатление такое, что вокруг ламп повесили два матовых светящихся шара диаметром не более метра.

Вскоре был сделан первый снимок заросшей колонны. Отдираем слой мидий, из-под него проглядывает серый холодный бетон. Снова снимаем... Постепенно наладился ритм работы, затвор «Старта» щелкал непрерывно. После погружений мы обработали пленку. Результаты фотографирования нас вполне удовлетворили.

Дальнейшая работа проводилась у недавно погруженных колонн. Медленно плавая вокруг черных, блестящих, еще не обросших водорослями стволов, мы ощупывали их, внимательно присматриваясь к любому подозрительному бугорку. На глубине 8 м заметили зловещую трещину. Извиваясь, она уходит вдоль колонны вниз. После уточнения места и размеров трещин мы сфотографировали их.

Так изо дня в день шла наша работа. Создавалась методика, появлялись навыки. Теперь уже водолазы не шутили по нашему адресу. Совместная работа давала хорошие результаты. Фотоснимки в мутной воде приобретали первостепенное значение. Решающее слово — заключение — теперь основывалось на фотодокументе. Фотографии помогали выявить дефекты подводных работ и тем предупредить преждевременное разрушение железобетона.

Мы лечим порт

Напряженно живет один из северных портов страны. Лязгают сцепками железнодорожные вагоны, бегут локомотивы, нутужно звеня, ползут порталные краны. В морские ворота входят суда многих стран мира.

Но однажды нарушился четкий ритм жизни порта: на одном из причалов замер кран, остановились гру-

женные коксом вагоны — водолазы обнаружили обрушившийся участок.

Отчего произошел обвал? Старое это разрушение или новое? Не подлежало сомнению, что обвал был связан с разрушением военных лет и что водолазу в тяжелом гидрокомбинезоне с воздушным шлангом за спиной не пробраться под причал. А нужно было немедленно проникнуть в самые недоступные места, попытаться прощупать оголовки свай и сфотографировать разрушение. И тогда на помощь вызвали специалистов легководолазов-аквалангистов. Вскоре группа спортсменов-подводников, инженеров-гидротехников Государственного проектно-конструкторского и научно-исследовательского института морского транспорта приступила к работе.

Стоял декабрь. Река, в устье которой расположен порт, долго боролась с морозом. Температура воды в ней с каждым днем понижалась. Термометр показывал + 7, +4, +2° и, наконец, у берегов начал появляться лед. И все же ледяная вода не смутила гидронавтов. Смело уходили они в неприветливую, кофейного цвета воду. Сплошной мрак окутывал их уже на глубине 3 м, быстрое течение сбивало с курса.

Нелегко было найти место разрушения и сфотографировать его. Работали парами, обследуя по очереди через прозрачный фильтр контейнера куски бетона, свай, ржавую арматуру, оставшуюся после войны. На аварийном участке требовалось сфотографировать поврежденное место. Через контейнер мы его видели, но стоило оторвать глаза от иллюминатора, как маску сразу окутывал мрак. Где-то впереди, на расстоянии вытянутой руки, мелькали тени контейнера и отсветы ламп. Не было видно и напарника. Связь с ним поддерживалась «прямая» — через натянутый капроновый шнур.

Наконец контейнер прижат к нужному месту, шелкнул затвор аппарата, рывок за шнур — знак товарищу, чтобы сделал еще один, контрольный кадр... Двигаясь вдоль холодной стены, один взводил затвор аппарата, другой отыскивал нужные для съемки места и прижимал контейнер. Так и работали мы, борясь с сильным подводным течением, тащившим нас в сторону.

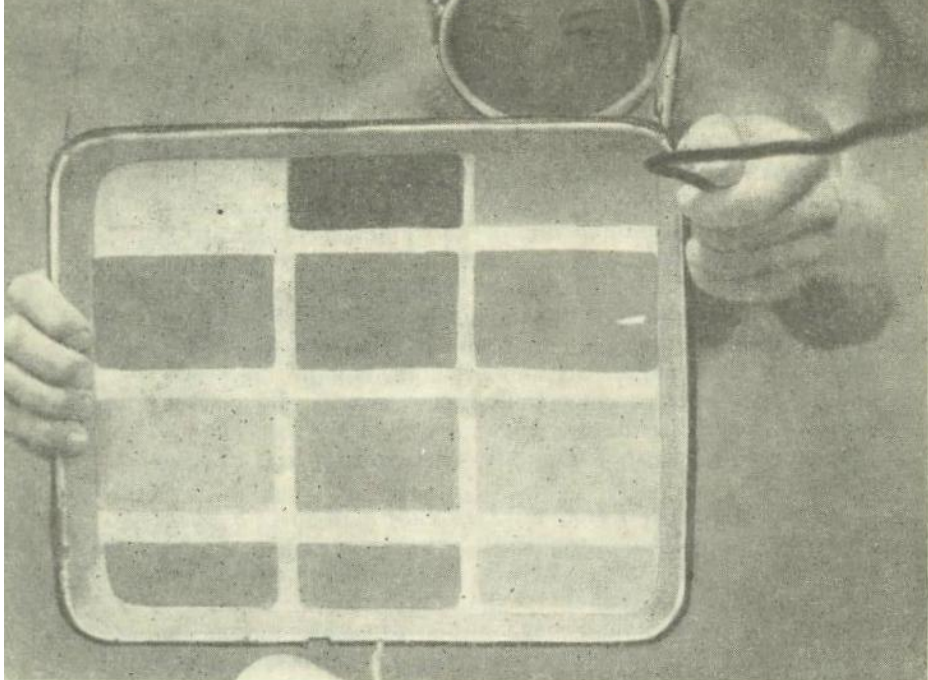


Фото автора

**Оптические свойства
водной среды и законы
распространения в ней света**

Вода, являясь средой относительно прозрачной, по физическим свойствам значительно отличается от воздушной среды. Будучи в 770 раз плотнее воздуха, она практически несжимаема, достаточно хорошо передает звуковые колебания и обладает значительно большей, по сравнению с воздухом, теплоемкостью. Вода, даже оптически чистая, примерно в 1000 раз сильнее воздуха ослабляет видимый свет.

Если дальность видимости предметов в воздушной среде может достигать нескольких километров, — а космонавты отчетливо видят очертания материков и города даже за несколько сотен километров, — то дальность видимости в водной среде не превышает нескольких десятков метров. Подводный фотограф даже в ясный солнечный день видит предметы, окутанные в легкую голубоватую дымку. При фотографировании в воде изображения получаются малоcontrastными, а при цветной фотосъемке очень трудно добиться правильной и сочной цветопередачи.

Человеческий глаз по своей природе воспринимает свет не только по его яркости, но и по цветности. Попадая под воду на небольшую глубину, человек наблюдает гамму цветовых тонов, близкую к надводной. Опускаясь все глубже, он замечает, что яркие краски становятся тусклыми.

Что же вызывает это явление, почему под водой теряется яркость и изменяется сочность цветовой гаммы?

Коротко расскажем об оптических свойствах воды в видимой человеческим глазом части спектра

Поглощение света водой

Оптически чистая вода, то есть вода, свободная от окрашивающих веществ и механических примесей, в определенной закономерности ослабляет световой поток.

Поглощение водой светового монохроматического потока, образующего пучок параллельных лучей, определяется по показательному закону:

$$F_k = F_0 \cdot 10^{-kx}, \quad (1)$$

где F_k — световой поток, пропущенный слоем воды;
 F_0 — входящий поток монохроматического спектра;
 x — толщина слоя воды, через который проходит поток света, м;

k — показатель поглощения слоя воды, 1/м (обратные метры).

Рассмотрим график кривой поглощения для оптически чистой воды (рис. 1).

Морская вода, очищенная от механических примесей, практически обладает физическими характеристиками, близкими по значению к характеристикам оптически чистой воды. Из графика видно, что наименьшее поглощение соответствует длине волны света около 490 мкм (т. е. синему цвету) при $k = 0,006$ 1/м. На этом участке спектра вода очень незначительно поглощает световой поток. Потери в таком случае составляют 1,5% при пути света длиной в 1 м. На участке спектра красного цвета с длиной волны около 720 мкм показатель поглощения достигает наибольшего значения. В этом случае $k = 1$ 1/м, а на границе с ультрафиолетовым излучением — 0,05 1/м.

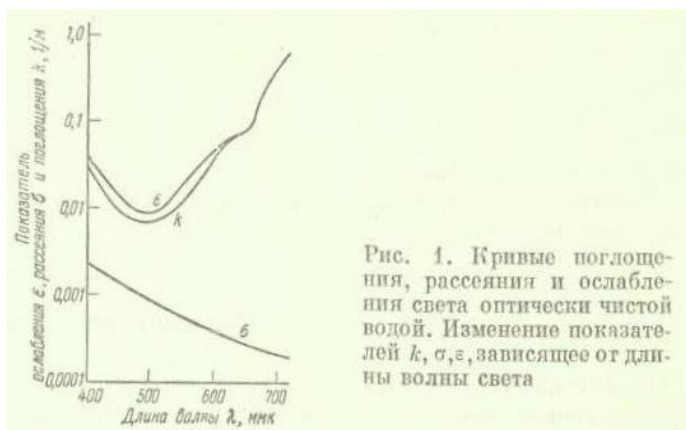


Рис. 1. Кривые поглощения, рассеяния и ослабления света оптически чистой водой. Изменение показателей k , σ , ϵ , зависящее от длины волны света

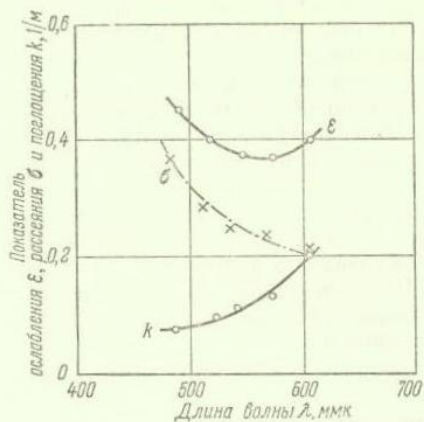


Рис. 2. Показатели k , σ , ϵ для естественного водоема

Поглощение света в природной воде в области видимого спектра (с достаточной степенью точности) можно считать как сумму двух поглощений: а) поглощение света взвешенными в воде частицами и б) поглощение света оптически чистой водой. Наличие в природной воде взвешенных частиц, различных форм и материалов значительно увеличивает общее поглощение светового потока. На графиках (рис. 2) приводятся кривые поглощения света для морской воды.

Из сравнения кривых поглощения (см. рис. 1 и 2) видно, что в интересующей нас области спектра ослабление света происходит в основном поглощением его взвешенными частицами.

Морская вода имеет коэффициент поглощения больший, чем оптически чистая вода; речная и озерная воды обладают еще большим поглощением. Весьма прозрачные природные воды в видимой области спектра имеют значение $k = 0,02^1/m$, в то время как загрязненные воды могут иметь значение $k = 2^1/m$. На каждом метре природной воды может быть потеряно за счет поглощения от 5 до 99% падающего светового потока.

Поглощенный свет потерян для фотографирования;

в этом случае поглощенная световая энергия расходуется на нагревание среды, заставляя колебаться материальные частицы. Непоглощенная световая энергия рассеивается частицами в разные стороны.

Потери от поглощения света в водной среде не могут сильно повлиять на получение качественных снимков. Эта потеря компенсируется применением светосильных объективов и высокочувствительных эмульсий негативных пленок. Хорошие результаты можно получить, снимая предметы под водой на близком расстоянии или пользуясь источниками искусственного света, увеличивая освещенность.

Но наибольшие затруднения при подводном фотографировании вызываются не поглощением света, а его рассеянием.

Рассеяние света водой

Рассеяние света водой в значительной степени зависит от ее загрязненности взвешенными частицами, однако совершенно чистая дистиллированная вода также рассеивает свет. Рассеяние света в воде — явление сложное, оно вызывается как присутствием в воде механических частиц, так и перемещениями молекул воды.

Параллельный монохроматический пучок лучей, пройдя через слой воды x , ослабляется вследствие рассеяния:

$$F_{\sigma} = F_0 - 10^{-\sigma x}, \quad (2)$$

где F_{σ} — световой поток, пропущенный рассеивающим слоем воды;

σ — показатель рассеяния света, зависящий от числа взвешенных частиц в единице объема воды и от размера этих частиц.

Размер частицы в значительной степени изменяет характер рассеяния.

Если размер частицы настолько мал, что ее диаметр во много раз меньше длины волны света и измеряется тысячными долями микрона, то луч света, упавший на такую частицу, рассеивается практически во все сторо-

ны с равной силой. Количество света, прошедшее в этом случае вперед, будет равно количеству света, отброшенному частицей назад.

При увеличении размера частицы количество световой энергии, прошедшей по направлению падающего луча, увеличивается. Если диаметр частицы равен по величине длине волны света, то количество световой энергии, прошедшей по направлению падения луча света, будет примерно в 2,5 раза больше количества световой энергии, отброшенной назад.

Для вычисления показателя рассеяния можно пользоваться формулой:

$$\sigma = c \cdot \lambda^{-\nu} \quad (3)$$

где c — постоянный коэффициент;

λ . — длина волны, *ммк*;

ν — показатель степени, зависящий от радиуса рассеивающих частиц.

Рассеяние света называют релеевским по имени Релея — ученого, открывшего этот закон. Однако релеевский закон рассеяния применим лишь при радиусах частиц не свыше 0,05 *ммк*. При больших значениях радиуса частиц показатель степени начинает быстро убывать.

При малом радиусе частиц ослабление происходит сильнее в фиолетовой части спектра, а при увеличении размера частиц разница в ослаблении света между фиолетовой и красной частями спектра уменьшается. При диаметре частиц более 4 *ммк* рассеяние не зависит от длины волны.

Рассеяние света вызывается планктоном, органическими и неорганическими частицами, поднятыми течением со дна или принесенными из рек, а также воздушными пузырьками. Наиболее сильно рассеивают свет пресные проточные воды, воды озер и прибрежные воды морей и океанов.

Однако и вода, совершенно свободная от механических примесей, рассеивает свет.

Рассеяние света в совершенно чистой, оптически прозрачной воде называется молекулярным рассеянием. Непрерывное перемещение молекул, вызванное тепловыми колебаниями в водной среде, создает различную

элементарную плотность воды. Показатели преломления в соседних элементарных объемах воды могут оказаться в некоторое мгновение разными, возникает оптическая неоднородность среды, и луч света отклоняется от своего пути.

Для нормального подводного фотографирования очень важно соотношение количеств рассеянного и направленного света. Рассеянный свет не может участвовать в образовании изображения, и тем не менее, попадая через фотографический объектив на пленку, он засвечивает светочувствительный слой негативного фотоматериала. В некоторых условиях рассеянный свет создает такие почернения негатива, что дальнейшая его обработка и изготовление фотоотпечатка становятся нецелесообразными.

Итак, выяснено, что свет в воде ослабляется за счет поглощения и рассеяния светового потока. Каково же суммарное действие этих факторов?

Ослабление света водой

Поглощение и рассеяние световой энергии водой ослабляет свет. Параллельный пучок световых лучей ослабляется по тому же показательному закону:

$$F_{\varepsilon} = F_0 \cdot 10^{-\varepsilon x}, \quad (4)$$

где F_{ε} — монохроматический световой поток, прошедший через слой воды;
 ε — показатель ослабления.

Коэффициент пропускания водой направленного света θ зависит от показателя ослабления света и толщины слоя воды x :

$$\theta = F_{\varepsilon} / F_0 = 10^{-\varepsilon x} \quad (5)$$

Прозрачность θ характеризуется коэффициентом пропускания света толщей воды, равной 1 м.

Основную роль в ослаблении света для оптически чистой воды играет поглощение света водой. Однако в средней части видимого спектра становится заметным и рассеяние (см. рис. 1). Наибольшая прозрачность для чистой воды будет на участке спектра 460—520 мкм



Рис. 3. Спектральная прозрачность предельно чистой воды в сравнении с различной природной водой

(голубой и зеленый цвета). В этом случае слой воды толщиной 5 м в состоянии ослабить свет всего лишь как обычное оконное стекло (рис. 3).

Минимальное значение ϵ равно $0,01 \text{ } 1/\text{м}$, но оно резко возрастает к границам спектра.

Показатель рассеяния σ для природных вод в верхних слоях водоема близок по значению к показателю поглощения k . Показатель рассеяния в этих случаях составляет 50—70% от показателя ослабления.

На практике прозрачность воды часто оценивают по глубине видимости белого диска диаметром 300 мм. Глубина видимости диска определяется как сумма двух измерений (глубины исчезновения диска при погружении и глубины появления диска при его подъеме), разделенная пополам.

Прозрачность воды и как оценка прозрачности — глубина видимости белого диска Z — зависят от ослабления освещенности (рассеяния и поглощения света водой). Для приближенных расчетов и определения показателя ослабления можно пользоваться формулой Гершуна:

$$\epsilon = 3,5/Z \quad (6)$$

Однако следует помнить, что для различных водоемов коэффициент меняется. По замерам Аткинса и Грехема, в водах Атлантического океана он равен 2,2.

Прозрачность природных вод различна как в разных водоемах, так и в одном и том же водоеме: она зависит от времени года, погоды, течений и ветров. Видимость белого диска для природных вод колеблется от нескольких десятков сантиметров до 70 м. В табл. 1* приведены глубины видимости диска в различных водах мира. Из таблицы видно, что увеличение видимости белого диска возрастает при удалении от материкового берега.

Прозрачность воды — один из основных факторов, влияющих на освещенность под водой.

Освещенность и фотосъемка под водой при естественном свете

Естественный световой поток во всей толще воды ослабляется в основном за счет поглощения.

Рассеяние света в меньшей степени ослабляет световой поток, так как направление рассеяния незначительно отклоняется от первоначального направления потока.

Глубина проникновения света в воду определяется показателем поглощения и зависит от поверхностной освещенности.

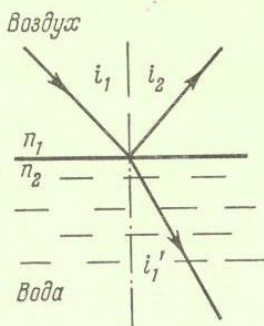
Освещенность поверхности моря в свою очередь зависит от угла подъема солнца над горизонтом и от облачности.

Проследим за лучом света, проникающим в воду. Пучок световых лучей, падая на водную поверхность, частично отражается от нее и, частично преломившись, проходит вглубь. На схеме (рис. 4) видны углы падения луча света, преломления и отражения его от поверхности воды. Угол преломления n_1' отличается от угла падения и зависит от показателя преломления n . Угол отражения n_2 зависит от величины угла падения n_1 и равен ему.

* Упомянутые в тексте таблицы даны в приложении к книге.

Рис. 4. Схема отражения и преломления луча света от водной поверхности

i_1 — угол падения светового луча на поверхность воды; i_2 — угол отражения светового луча от поверхности воды; i'_1 — угол преломления светового луча при прохождении через водную поверхность; $n_1=1$ — показатель преломления для воздушной среды, $n_2 = 1,337$ — показатель преломления для водной среды



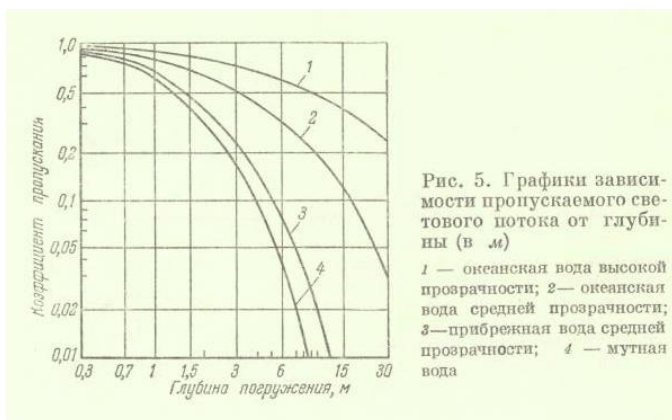
Кроме направленного солнечного света, под воду попадает еще и рассеянный свет от облаков и неба. В воду проникает до 95% диффузного света.

Большую роль в прохождении направленного света в воду играет состояние водной поверхности. Чем больше взволнована она, тем меньше света отражается и тем более рассеяно будет подводное освещение.

Природная вода (рис. 5) очень интенсивно ослабляет световой поток, но в то же время световые лучи в разных участках спектра поглощаются водой по-разному. Являясь хорошим светофильтром, вода интенсивно поглощает лучи красной области спектра, сравнительно слабо уменьшается в прозрачной воде количество голубых лучей.

Графики, показанные на рис. 6, наглядно иллюстрируют изменение качества света в зависимости от длины волны света в миллимикронах и от загрязненности воды. Они построены для пути света в воде, равного 3 м. Все кривые на графиках имеют минимальные значения в красной части спектра. Физическую сущность воды как светофильтра можно оценить по первому графику, построенному для чистой океанской воды.

По этой кривой видно, что чистая вода пропускает до 95% света в голубой части спектра, поглощая в то же время до 60% красного света.

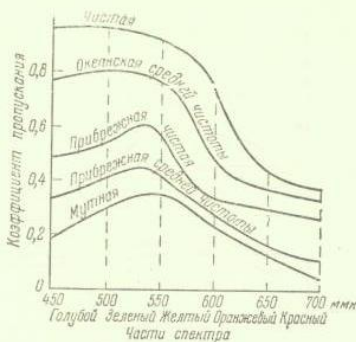


Взвешенные же в воде частицы, являясь причиной рассеяния света, в то же время в значительной мере поглощают и голубые лучи. По графику для мутной прибрежной воды (рис. 6) можно заметить, что количество света в голубой части спектра поглощается такой водой до 80%. Количество света, поглощенного в красной части спектра, в этом случае будет равно 90%. Поэтому предметы в мутной воде кажутся желтыми.

Из рассмотренных графиков видно, как качественно и количественно изменяется освещенность на различных глубинах и как на нее влияют физические свойства воды и ее загрязненность. Многочисленные же опыты в свою очередь показали, что уже на глубинах 3 м в условиях прибрежной чистой воды остается только 40% яркости надводного освещения.

При цветном подводном фотографировании ослабление лучей красной части спектра значительно усложняет процесс проявления негатива и последующую цветную печать позитива. При черно-белом фотографировании на панхроматических негативных пленках, наиболее равномерно чувствительных ко всем лучам видимого спектра, ослабление или отсутствие красных лучей, нарушая цветной баланс, снижает контраст изображения.

Рис. 6. Графики ослабления освещенности, зависящие от длины волны света при пути света в воде 3 м



Для уменьшения преобладающего влияния синих лучей, т. е. для снятия дымки и получения более четких снимков, при черно-белой подводной фотографии, и для получения цветного баланса, по которому сенсителизована* цветная пленка, при цветной подводной фотографии, необходимо пользоваться корректирующими светофильтрами.

На рис. 7 приведены кривые пропускания света в воде на глубине 3 м. Кривые получены путем коррекции светового потока светофильтрами типа ПС-10 и исправления графиков с учетом этой коррекции.

Кривые пропускания света, полученные путем корректирования, имеют незначительные максимумы на границах голубой и красной частей спектра и незначительный минимум в его желтой части.

При таких соотношениях длин волн вполне возможны качественные снимки как при черно-белой, так и при цветной фотографии.

Однако, если проанализировать по кривым количество света, прошедшее через воду и корректирующиеся светофильтрами, то окажется, что оно очень мало. Уже на глубине 3 м для прибрежной мутной воды суммар-

* Сенситометрия фотографическая — учение об измерении фотографических свойств светочувствительных слоев. Сенситизация — очувствление светочувствительных слоев пленки к красному свету.



ный коэффициент пропускания равен всего 10%, т. е. всего лишь $\frac{1}{10}$ часть света может активно участвовать в процессе фотографирования. Если величину пути света, равную 3 м, брать как сумму, состоящую из пути света от поверхности воды до снимаемого объекта плюс путь света от снимаемого объекта к фотокамере, то в прибрежной воде средней мутности на глубине 1,5 м и при удалении от снимаемого объекта на расстоянии 1,5 м необходимо увеличить экспозицию в 10 раз по сравнению с надводной экспозицией.

Светофильтры типа ПС-10 корректируют световой поток, срезая коротковолновую часть спектра. При этом количество света для подводных съемок становится недостаточным.

Особенно слаба подводная освещенность в мутной воде. Работая осенью 1962 г. в Рижском порту, автор погружался в р. Даугаву. В то время обильные дожди вызвали очень сильное загрязнение речной воды. И уже на глубине 3 м совершенно невозможно было определить, где находится поверхность дна, освещенная солнцем.

При подводных съемках на черно-белую пленку для корректирования светового потока могут быть использованы оранжевые и желтые светофильтры: ОС-12, ЖС-12, ЖС-18. Эти светофильтры имеют кратность в несколько раз меньшую, чем красные светофильтры. Как уже отмечалось, в различных природных водах, при одинаковых условиях естественного освещения, подводная освещенность неодинакова.

В морской воде в ясный, солнечный день при глубине видимости белого диска $Z = 20$ м, на глубине 25 — 30 м светло, как на воздухе в пасмурный день. Свет на этой глубине зеленоватый.

Летом 1962 г. автор в составе группы подводных исследователей погружался в Татарском проливе Японского моря для осмотра легендарного фрегата «Паллада». Судно затонуло на глубине 20—25 м, и иногда в хорошую погоду его очертания проглядывались с поверхности. Спустившись в легководолазном снаряжении к останкам корабля, мы попали в холодный зеленоватый сумрак. Все яркие краски были приглушены, детали корабля, обросшие водорослями, тонули и полумраке. Морские звезды, яркие на поверхности, с оранжевыми и фиолетовыми лучами, были похожи на бесцветные куски ткани, разбросанные по дну.

Жорж Гуо и Пьер Вильм, опускавшиеся в батискафе в Средиземном море, считают, что на глубине 500 м пропадают всякие признаки света. Во время погружения около Бермудских островов они отмечали, что на глубине 200 м — свет синий, глубже — фиолетовый, а на глубине 600 м царит тьма.

При съемках подо льдом на Рыбинском водохранилище Д. С. Павлов и Д. С. Николаев собрали материал по местной подледной освещенности. Оказалось, что при поверхностной освещенности льда, равной 2000—4000 лк, освещенность на глубине 0,5—1 м от нижней поверхности льда равнялась всего нескольким сотням люкс. Толщина льда во время замеров освещенности была равна 45 см, а толщина снежного покрова колебалась от 0 до 15 см.

В. С. Лощилов в работах по морским подледным стереоскопическим съемкам указывает на то, что естественная освещенность нижней поверхности льда впол-

не достаточна для ее фотографирования без искусственных источников освещения. Лед толщиной в 1,5 м пропускает 20% света. При высоте стояния солнца над горизонтом, равной 20° , освещенность подо льдом в этом случае будет 1500 лк.

Практика съемок показала, что при толщине морского ледяного покрова до 1,5 м освещенность в ясный полдень подо льдом позволяет фотографировать без подсвета, однако с началом таяния снега светопрозрачность заметно уменьшается.

Также сильно понижает подледную освещенность снежный покров.

Подводное фотографирование подо льдом и фотосъемки в загрязненных водах невозможны без применения специального фотосъемочного оборудования с устройством для искусственного освещения.

Для определения экспозиции при подводных съемках многие специалисты пользуются фотоэкспонетрами «Ленинград-1» и «Ленинград-2», помещая их в специальные изолирующие коробки. В таких коробках имеются прозрачные иллюминаторы и приводы к шкалам прибора. Однако первые опыты по использованию экспонетров во время съемок под водой выявили ошибочность их показаний в подводных условиях.

О. А. Соколов подсчитал поправки к показаниям отечественных экспонетров. Результаты их применения оказались довольно интересными. Так, в Средиземном море уже на глубине 25 м необходимо увеличить экспозицию в 2 раза по сравнению с показанием прибора, а на глубине 75 м — в 5 раз.

Такое завышение показаний экспонетра вызвано различием спектральных соотношений света под водой и на поверхности.

Обычно экспонетр корректируется в соответствии с чувствительностью пленки к естественному свету. Поэтому в каждом конкретном случае подводной фотосъемки при использовании экспонетра следует обязательно сопоставить его показания с результатами, полученными при контрольной съемке.

Освещенность под водой, созданная подводными светильниками

Применение полного или частичного искусственного освещения при фотографировании под водой намного улучшает качество снимков. В то же время освещенность, создаваемая искусственными источниками света в воде, так же как и естественный свет, ослабляется в результате рассеяния и поглощения. Кроме того, при расчете освещенности, созданной точечным источником света, наряду с ослаблением света (рассеянием и поглощением), необходимо учитывать закон квадратов расстояний.

Подводная фотосъемка требует мощных и надежных в работе источников света, причем желательно с автономным питанием электроэнергией. Это в первую очередь относится к электронным импульсным лампам и лампам-вспышкам одноразового действия. Источники освещения, получающие постоянное питание с поверхности, в основном — нерентабельны. Их использование может быть оправдано только для подводных киносъемок и подводного телевидения или для фотосъемок в сложных условиях с сильно затемненным освещением: в затопленных шахтах, на затонувших кораблях, в пещерах и т. д., да и то в том случае, если работы ведут водолазы в вентилируемом снаряжении. Кабель для питания источников освещения может быть тогда укомплектован совместно с воздушным шлангом и телефонным кабелем. Однако маневренность водолаза, обремененного несколькими десятками метров кабеля и шланга за спиной, будет безусловно очень ограничена.

Лампы-вспышки одноразового действия могут применяться для освещения при подводном фотографировании. Но необходимость подводного демонтажа осложняет конструкцию бокса для светильника, а отсутствие в продаже заводских конструкций исключает широкое их применение.

Конструктивное оформление и схемы импульсных ламп «Молния ЭВ-1», «Луч-59» и «ФИЛ» наиболее пригодны для применения их в подводной фотосъемке. Импульсные лампы дают очень короткую (от $1/2000$ до

$1/_{500}$ сек) и мощную вспышку, причем ее световой поток очень близок по своему спектральному составу к солнечному.

Свет электронной импульсной лампы позволяет снимать на цветную пленку, применяемую для дневного освещения. Это очень важно, так как при выборе корректирующих светофильтров можно пользоваться теми же номерами светофильтров, что и при съемках с естественным освещением.

Однако не следует забывать, что при пользовании импульсной лампой, напряжение питания которой равно 330 в, требуется максимальная осторожность в обращении с прибором. Это замечание нужно учитывать при проектировании бокса для вспышки.

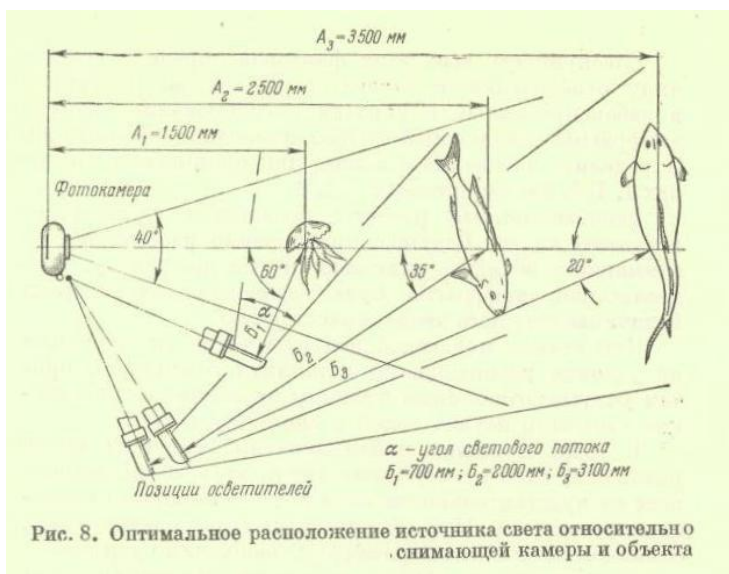
Расположение источника освещения

Расположение источников освещения относительно снимаемого объекта и фотокамеры — главное при подводном фотографировании.

Располагая источник освещения близко к оси объектива, не следует забывать о рассеянии света. Распространению света в воде в данном случае будут мешать взвешенные частицы, невидимые при ровном естественном освещении.

Луч света источника на своем пути к снимаемому объекту осветит в воде взвешенные частицы. Значительно теряя свою направленность и яркость, световой поток создаст между фотокамерой и объектом световую завесу. Этот фон порой настолько велик, что за ним почти не проглядывается контур объектива. Если учесть, что лучу света необходимо вернуться обратно от объекта к фотокамере, то можно представить, какая преграда создается при расположении источника освещения около объектива.

При выборе оптимального расположения источника освещения нужно уменьшить путь луча света в воде и избегать прямого освещения среды между объектом и фотокамерой. Путь света в воде уменьшают, вынося лампу вперед к снимаемому объекту. Для устранения плоского освещения объекта и прямого засвечивания



среды перед объектом лампы выносят в сторону от камеры (рис. 8). Следовательно, источник освещения необходимо располагать впереди и в стороне от аппарата.

Определение экспозиции при искусственном освещении

Экспозиция при съемке под водой с импульсной лампой зависит от:

- 1) мощности энергии вспышки;
- 2) расстояния между источником света и объектом;
- 3) расстояния между объектом и фотокамерой;
- 4) свето- и цветочувствительности используемого негативного материала;
- 5) плотности применяемых корректирующих свето-фильтров;
- 6) прозрачности воды в районе фотосъемок.

Совокупность всех этих факторов определяет величину относительного отверстия объектива. Доступное в забоксированных аппаратах регулирование размера диафрагмы — надежный способ изменения экспозиции. Определить экспозицию можно при постоянных факторах 1, 4, 5, 6 и изменяемых — 2, 3.

Экспозиционные расчеты проводятся с помощью ведущего числа. Ведущее число равно расстоянию до снимаемого объекта, умноженному на диафрагму. Следовательно, диафрагма будет выражена отношением величины ведущего числа к расстоянию.

При съемке под водой ведущее число определяется из условия расположения источника освещения, причем учитываются также факторы рассеяния и поглощения светового потока водой и светофильтрами.

В табл. 2 можно найти значения ведущих чисел различных схем электронных импульсных ламп, зависящих от чувствительности пленки и от мощности источника освещения. При использовании нескольких ламп, одинаковых по своим параметрам, необходимо учитывать коррекцию на их общую мощность. Например, если применить две лампы равной мощности, то ведущее число нужно увеличить в 1,4 раза.

При боковой установке источника освещения приходится учитывать процент изменения ведущего числа в зависимости от величины угла, под которым установлен осветитель по отношению к оптической оси объектива. Так, если этот угол равен 30° , то ведущее число изменится на 7%, при 45° — на 15%, при 60° — на 30%.

Выяснив таким образом ведущее число и светочувствительность фотоматериалов, подсчитывают экспозицию — размер относительного отверстия объектива (диафрагму). Оценив количество света, которое дошло до пленки, определяют прозрачность слоя воды. Значение экспозиции увеличивают, корректируя величину предварительно подсчитанной диафрагмы по табл. 3. Если, к примеру, съемка производится в бухтах, где прозрачность воды равна 30%, то экспозицию увеличивают втрое.

Наличие на объективе фотокамеры корректирующего светофильтра требует увеличения экспозиции в чис-

ло раз, равное кратности светофильтра (табл. 4). Значения кратности светофильтров даны для съемок на воздухе. Однако этими данными можно пользоваться и для приближенного расчета экспозиции при съемках под водой. Только для более точного определения экспозиции значения кратности светофильтров нужно пересчитывать, исходя из условия съемок под водой — конкретно для каждого случая. Автор неоднократно пользовался таким приближенным методом расчета экспозиции и считает, что ошибки по определению экспозиции в этом случае бывают не более двух-трехкратного значения.

На первый взгляд определение экспозиций может показаться сложным, однако при предварительной подготовке фотографа в каждом конкретном случае окончательные подсчеты при определении экспозиции сводятся к минимуму.

На месте фотосъемок необходимо подсчитать для данной прозрачности воды и применяемой светочувствительности фотоматериалов примеры экспозиций нескольких контрольных расстояний (смотрите рис. 8):

1. Общий путь луча света равен 2,2 м, $A = 1,5$ м и $B = 0,7$ м. Полученную диафрагму для этого случая необходимо написать на табличке, прикрепленной к боксу фотовспышки.

2. Общий путь луча света — 4,5 м, $A = 2,5$ м, $B = 2$ м. Результаты полученной экспозиции также внести в таблицу.

3. Общий путь луча света — 6,6 м, $A = 3,5$ м, $B = 3,1$ м. Результаты также зафиксировать в сводной таблице.

Как видно из приведенных примеров, при длине пути света более 7 м. красные лучи спектра почти не доходят до объектива, поэтому снимать на цветную пленку на расстояниях более 4 м от фотокамеры не рекомендуется.

Подсчитанные значения экспозиций для определенных расстояний крупными цифрами записываются темным стирающимся карандашом на светлой таблице. Это делается для того, чтобы под водой было удобнее пользоваться полученными результатами в каждом конкретном случае.

Приведем несколько примеров по определению экспозиций при съемках под водой с искусственным освещением.

Пример 1. Фотосъемка производится в чистой прибрежной воде. Источники освещения — две импульсные лампы с энергией вспышки каждой по 100 дж. Пленка чувствительностью 180 ед. ГОСТ. Применен светофильтр ЖС-18. Расстояние A до снимаемого объекта от фотокамеры равно 1,5 м.

По схеме (рис. 8) находим B — расстояние от источника освещения до объекта. $5 = 0,7$ м (при удалении объекта от фотокамеры на расстоянии $A = 1,5$ м).

Общий путь света $5 = 2,2$ м ($1,5 + 0,7$). Ведущее число в этом случае будет для одной лампы равно 50. Для двух ламп — 70 ($50 \cdot 1,4$).

Угол между осью рефлектора и оптической осью объектива (см. рис. 8) равен 60° . Уменьшив ведущее число на 30%, получим 50. Диафрагма приблизительно будет равна 23 ($50:2,2$). Возьмем ближайшее (по табл. 3) значение, равное 22. Прозрачность воды 50%, следовательно, экспозицию необходимо увеличить в данном случае в 2 раза. По табл. 3 получаем диафрагму 11. Кратность светофильтра ЖС-18 (по табл. 4) равна 2. Таким образом, необходимо увеличить экспозицию в 2 раза. Окончательно (по табл. 3) получаем для данного случая значение диафрагмы, равное 8.

Пример 2. Условия съемки остаются неизменными, за исключением расстояния от фотокамеры до снимаемого объекта. $A = 3,5$ м, $B = 3,1$ м. Общий путь света B равен 6,6 м.

Угол между осью рефлектора и оптической осью объектива 30° . Ведущее число в этом случае уменьшится на 7% и будет равно 65 ($70 - 4,9$).

Диафрагма для условий съемки на воздухе, подсчитанная таким способом, приблизительно равна 10. Берем ее ближайшее значение, равное 11. Однако прозрачность воды такова, что до объекта доходят 50% света. Поэтому полученную экспозицию для подводной съемки необходимо увеличить в 2 раза. По табл. 3 получаем диафрагму 8. Применяя корректирующий светофильтр ЖС-18 с кратностью 2, получаем значение диафрагмы, равное 5,6.

Второй пример показывает, что для получения большей глубины резкости необходимо применить более чувствительную пленку. Уменьшая экспозицию (в данном случае диафрагмируя объектив), можно получить большую глубину резко изображаемого пространства, а это, в свою очередь, увеличит надежность съемки. Чувствительность пленки для этого случая может быть взята 250 ед. ГОСТ.

Приведенные примеры рассмотрены для источников освещения — импульсных ламп — с автономным питанием электроэнергией.

Снимаемый объект в момент экспонирования освещается импульсной лампой, однако наводка на резкость и кадрирование в сильно затемненных условиях под водой будут либо невозможны, либо сильно затруднены. В этом случае для целей подсветки при кадрировании может быть использован вспомогательный светильник.

Светильник с автономным питанием Может быть помещен вместе с импульсной лампой-вспышкой. Питаться энергией такой светильник (мощностью в 70—100 *вт*) может от аккумуляторных батарей, смонтированных совместно с блоком питания для лампы-вспышки. Для экономии энергии на внешнюю панель управления светильником выводится выключатель. Если окружающая освещенность позволяет пловцу перемещаться в воде без светильника, то запаса энергии аккумуляторов хватит и на питание лампы-вспышки и на питание светильника.

Работая в Рижском порту осенью 1962 г. в воде очень низкой прозрачности, фотографы группы подводных исследований «Союзморниипроекта» пользовались двумя вспомогательными источниками освещения: подводными светильниками ППС-1000, снабженными лампами накаливания в 1000 *вт*, и подводными фонариками с лампами накаливания в 6 *вт*. Съемка велась через контейнер, наполненный дистиллированной водой, освещение объекта для съемки было автономным.

Эффект освещения получился неожиданный. Подводный светильник, имеющий мощность почти в двести раз большую, чем фонарь, засвечивая фон между объектом и фотокамерой, создавал световой конус с телес-

ным углом в 120° . Высота конуса в этом случае не превышала 100—150 см, а освещенные предметы из-за сильного рассеяния света плохо просматривались. Луч же света от фонарика, с углом рассеяния не более 5° , освещал на таком же расстоянии предметы довольно хорошо. В отличие от светильника, световой поток фонаря не слепил и не мешал наблюдать снимаемые предметы.

Дальность фотографирования

Дальность фотографирования зависит от дальности видимости предметов в воде, которая, в свою очередь, обуславливается: уменьшением освещенности предметов по мере их удаления от источника света; ослаблением водой видимой яркости предмета; размытием контуров предмета, вызванным процессом рассеяния света; световой дымкой.

Значительное повышение силы света светильника не намного (как мы видели из примера) увеличивает дальность видимости. Повышение силы света светильника в 10 раз увеличивает дальность видимости всего на 15%.

Дальность видимости предметов (может быть в несколько раз больше, чем дальность фотографирования, которая еще во многом зависит и от контрастности. Величину истинного контраста предмета можно рассчитать по формуле:

$$U_{ист} = (B_n - B_\phi) / B_\phi, \quad (7)$$

где $U_{ист}$ — контраст;

B_n — абсолютное значение яркости предмета;

B_ϕ — абсолютное значение яркости фона.

Видимый контраст $U_{вид}$ определяется по формуле:

$$U_{вид} = U_{ист} \cdot e^{-\epsilon x}, \quad (8)$$

где e — основание натуральных логарифмов ($e = 2,718$).

Как считают некоторые специалисты, между дальностью видимости и дальностью фотографирования су-

ществует зависимость, выражающаяся формулой

$$L = 0,5z, \quad (9)$$

где L — дальность фотографирования;

z — горизонтальная дальность видимости стандартного белого диска.

Опыты подводных съемок показали, что приведенная зависимость оправдывает себя в 80 из 100 случаев. Подводные исследователи часто убеждались, что предметы, отчетливо видимые под водой невооруженным глазом, затем зафиксированные на пленке, получались на негативе неконтрастными.

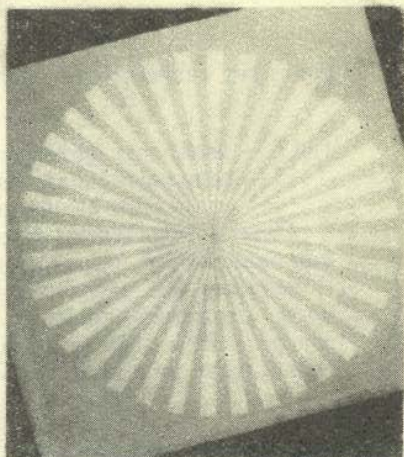
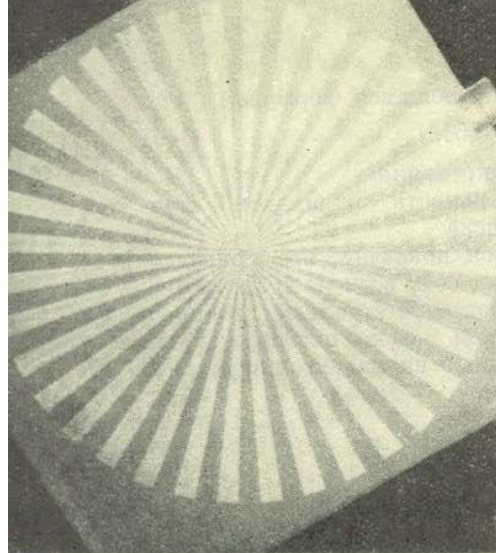


Фото автора

Выбор объектива для подводной фотографии

Для фотографирования под водой исследователь должен не только знать законы распространения света в воде, но и уметь правильно подбирать фотоаппаратуру, пригодную для подводных съемок.

Специфика подводной фотосъемки — загрязненность воды механическими и органическими примесями, слабая освещенность подводных объектов и способность воды селективно поглощать разные по длине волны света — вынуждает применять специальную оптику. Фотографическая оптика — фотообъективы — играет одну из ведущих ролей при получении качественного изображения снимаемого под водой объекта.

Требования, предъявляемые к объективам для подводного фотографирования

В подавляющем большинстве случаев для подводного фотографирования наиболее подходящи короткофокусные объективы, которые имеют достаточно большие углы изображения. Совершенно очевидно, что чем ближе к снимаемому объекту приблизится подводный фотограф, тем меньше между фотокамерой и объектом будет слой воды и тем отчетливее и контрастнее будет изображение. Площадь объекта, попадающая в поле угла изображения объектива, в этом случае для короткофокусных объективов будет наибольшая. Короткофокусные, широкоугольные объективы удобны для подводного фотографирования еще и потому, что они обладают большой глубиной резкости даже при полностью открытой диафрагме. Подводный фотограф может снимать при хорошей четкости изображения предметы, находящиеся в значительном удалении от установленной на объективе дистанции. Заметим, что при подводных съемках с рук пловцу часто приходится снимать из неустойчивого положения. Кроме того,

под водой сложно определять расстояние до снимаемых предметов. Поэтому применение объективов с большой глубиной резкости намного упрощает подводную съемку.

Однако короткофокусные объективы обладают и некоторыми отрицательными качествами.

Как правило, широкоугольные объективы имеют высокую разрешающую способность в центре поля — максимальное число линий, которое объектив способен изобразить на 1 мм длины в плоскости изображения — и сравнительно малую разрешающую способность по краям поля изображения. У широкоугольных объективов также наблюдается падение освещенности изображения по краям поля и увеличенная дисторсия — линейные искажения.

Для технических подводных фотосъемок ухудшение качества изображения по краям — явление нежелательное. Для художественных фотосъемок незначительные искажения и размытость изображения по краям допустимы, а иногда даже и желательны. Изображения на таких снимках воспринимаются при визуальном рассматривании более объемно.

Короткофокусные объективы, пригодные для подводной фотосъемки

Из существующих конструкций широкоугольных объективов, выпускаемых отечественной промышленностью, для подводных съемок можно рекомендовать следующие объективы:

1. «Юпитер-12» — короткофокусный светосильный объектив, имеющий угол изображения 63° . Светосила этого объектива — 1: 2,8; фокусное расстояние — 35 мм. «Юпитер-12» придает мягкий характер изображению, резкость которого значительно падает по краям кадра. Из аберраций* несколько хуже других исправлено линейное искажение по краям кадра, вследствие чего для технических съемок «Юпитер-12» применять

* Аберрация — дефекты объектива, дающие искажение изображения.

не рекомендуется, «Юпитер-12» предназначен для фотокамер с шириной пленки 35 мм и выпускается двух типов: с резьбовым креплением для незеркальных камер типа «Зоркий» и с байонетным замком для камер «Киев».

2. «Орион-15» — широкоугольный объектив, имеющий угол изображения 75° , фокусное расстояние — 28 мм, светосилу — 1:6. «Орион-15» позволяет получать изображения с большой резкостью в центре поля, но с заметным снижением резкости по краям изображения. Кроме того, наблюдается также падение освещенности по краям изображения. «Орион-15», имея короткое фокусное расстояние, обладает достаточно большой глубиной резкости при полном отверстии объектива. Объектив предназначен для фотокамер с шириной пленки 35 мм и выпускается двух типов: с резьбовым креплением для незеркальных камер типа «Зоркий» и с байонетным замком для камер типа «Киев».

3. «Руссар МР-2» — сверхширокоугольный объектив с углом изображения 95° . Фокусное расстояние — 19,5 мм, светосила — 1 : 5,6. «Руссар МР-2» не является универсальным объективом. Изображение, полученное этим объективом, имеет преувеличенную перспективу со значительными искажениями по краям. Большая глубина резкости объектива дает возможность производить фотосъемку и получать резкие изображения при удалении предмета от камеры от двух метров до бесконечности. «Руссар МР-2» предназначен для незеркальных камер типа «Зоркий» и выпускается с резьбовым креплением. Возможность фотосъемки без фокусировки для этого объектива намного упрощает маневрирование подводного фотографа.

4. «Мир-1» — короткофокусный объектив, предназначенный специально для малоформатных камер зеркального типа («Зенит», «Кристалл», «Старт»). Относительное отверстие объектива — 1: 2,8; фокусное расстояние — 37 мм. Конструкция объектива «Мир-1» позволяет применять его в зеркальных камерах и свободно размещать систему зеркальной наводки.

Объектив «Мир-1» имеет угол изображения 60° , очень близкий по величине к углу изображения объектива «Юпитер-12» (63°), но с гораздо более равномер-

ной по всему полю изображения разрешающей способностью*. Изображение, построенное объективом «Мир-1» — резкое и почти лишено искажений. Оправа объектива имеет кольцо для предварительной установки диафрагмы. Объектив «Мир-1» выпускается с резьбовым креплением для фотокамер «Зенит» и «Кристалл». Для аппарата «Старт» выпущено переходное кольцо, позволяющее кропить объектив в байонетном замке.

«Мир-1» можно считать одним из наиболее подходящих объективов для подводной фотосъемки. Отсутствие «прыгающей» диафрагмы у этого объектива можно компенсировать приспособлением в боксе фотокамеры, позволяющим регулировать диафрагму.

5. Для среднеформатных фотокамер с зеркальным видоискателем типа «Салют» разработан короткофокусный объектив «Мир-3». Этот объектив имеет фокусное расстояние 66 мм при достаточно большом относительном отверстии — 1: 3,5. Угол изображения равен 65°. Размер кадра камера «Салют» — 6X6 см. Наличие прыгающей диафрагмы выгодно отличает этот объектив от описанных выше.

Для подводных съемок лучше всего рекомендовать «Салют» с объективом «Мир-3».

Особенности работы объективов при подводной фотографии

Во время подводных фотосъемок обыкновенные фотокамеры заключаются в специальные изолирующие их от воды коробки — фотобоксы. Оптические системы — объективы фотокамер — дополняются стеклянными иллюминаторами. Стеклянные пластины, выдерживающие статистическую нагрузку воды, герметически уплотняются в корпусах боксов.

Наиболее часто в боксах применяются простые, но дающие сравнительно хорошие результаты иллюмина-

* Разрешающая способность объектива — количество линий, которое может изобразить объектив на 1 мм длины поверхности.

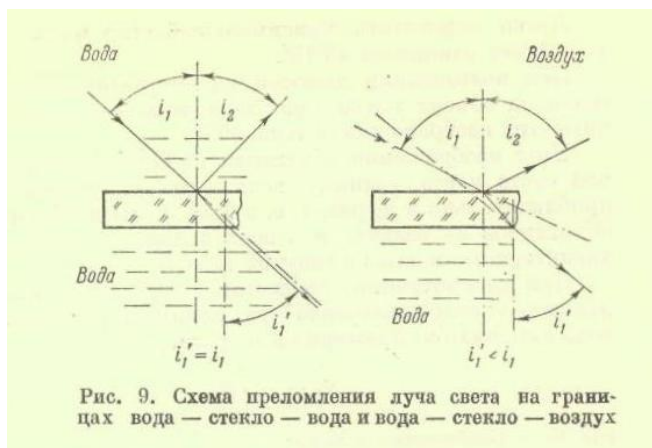


Рис. 9. Схема преломления луча света на границах вода — стекло — вода и вода — стекло — воздух

торы, изготовленные из плоского стекла. Лучи от предмета (рис. 9), попадающие в объектив, проходят в этом случае границу вода — стекло — воздух.

В данном случае преломление лучей на границах вода — стекло и стекло — воздух рассматривается как преломление вода — воздух, преломление лучей в стекле опускается с допустимой для расчетов точностью.

Угол падения i_1 — луча света в воздухе связан с углом преломления в воде следующей зависимостью:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2' \quad (10)$$

где n_2 — показатель преломления воды;
 n_1 — показатель преломления воздуха;
 i_1' — угол преломления луча света в воде;
 i_1 — угол падения луча света в воздухе.

Показатель преломления n_2 для морской воды равен 1,337 при солености 30‰ и температуре 20° С. С ростом температуры показатель преломления несколько уменьшается, а с увеличением солености — увеличивается. Для практических расчетов показатель преломления n_2 можно принять равным 1,34. Показатель преломления воздуха n_1 практически равен 1. Из уравнения (10) видно, что угол i_1 всегда меньше i_1' , и угол i_1' при пользовании плоским иллюминатором не может быть больше 48°15'.

Легко подсчитать максимальный угол $i_1'_{max}$, который будет равняться $48^\circ 15'$.

При пользовании плоским иллюминатором для наводки на объект в воде практически невозможно получить угол изображения больше $95,5^\circ$.

Угол изображения объектива при прохождении лучей света через границу вода — воздух уменьшается приблизительно в n_2 раз, т. е. в 1,34. Углы изображения объективов на воздухе и в воде и другие технические характеристики даны в сводной табл. 5.

При рассмотрении предметов через плоско-параллельное стекло иллюминатора видимые расстояния в воде изменяются примерно в n_2 раза.

$$S_2 = n_2 \cdot S_1, \quad (11)$$

где S_2 — расстояние в воде;

S_1 — расстояние на воздухе (шкала объектива).

Видимое изменение расстояния, возникающее при визуальном наблюдении предметов, сохраняется и при рассматривании объекта через фотообъектив. Для объектива, стоящего за плоским иллюминатором, когда имеется граница вода — стекло — воздух, изменение расстояния S_2 ведет к кажущемуся увеличению в n_2 раз фокусного расстояния. У объектива с фокусным расстоянием $f = 37$ мм кажущееся фокусное расстояние при подводных съемках будет $f = 50$ мм.

Поверхность раздела вода — воздух вносит хроматическую аберрацию, плоско-параллельное стекло иллюминатора вводит астигматизм, т. е. создает увеличение аберрации объектива на краю поля изображения.

Самый существенный недостаток обычных объективов, работающих через плоско-параллельное стекло при подводной фотографии, — уменьшение угла изображения и увеличение аберраций на краю поля. Технические же фотосъемки под водой требуют качественного изображения по всему полю снимка. Поэтому для сохранения угла изображения обычных объективов и устранения линейных искажений применяются различные оптические системы.

Так, между плоским иллюминатором и объективом устанавливается коррекционная оптическая система.

Однако сложность изготовления такой оптики, ее громоздкость и неудовлетворительные результаты, полученные с ее помощью, вынуждают оптиков работать над дальнейшим усовершенствованием этой системы.

Более надежный способ устранения аберраций и сохранения угла изображения объектива — применение иллюминатора, имеющего форму коррекционной линзы.

Оптическая система с коррекционным иллюминатором состоит из двух компонентов, выполняющих функцию рассеивающей линзы. Коррекционный иллюминатор, устраняя аберрации, сохраняет поле изображения объектива, его фокусное расстояние и остальные оптические свойства такими же, как при съемке этим объективом на воздухе.

В проблемной лаборатории Ленинградского института точной механики и оптики группой сотрудников под руководством профессора М. М. Русинова рассчитаны коррекционные иллюминаторы для следующих объективов, пригодных для аппаратов с шириной пленки 35 мм:

- 1) $f = 50$ мм; $2\beta = 59^\circ$; относительное отверстие 1:3,5;
- 2) $f = 35$ мм; $2\beta = 63^\circ$; относительное отверстие 1:3,5;
- 3) $f = 37$ мм; $2\beta = 60^\circ$; относительное отверстие 1:2,8.

Все корректирующие схемы применимы к существующим объективам, однако полностью аберрации объективов они не устраняют. Последнее возможно лишь при использовании специальных объективов для подводной фотосъемки.

Подводные объективы «Гидроруссары»

«Гидроруссары» — специальные объективы для подводной съемки. Расчет их оптической схемы ведется из условия компоновки объективов с плоско-параллельным иллюминатором в боксе фотокамеры. Аберрации объективов почти полностью исправлены.

На рис. 10 показан внешний вид объектива «Гидроруссар 3», изготовленного для фотокамеры «Зоркий». Он имеет резьбовое соединение с фотокамерой. Система наводки на резкость у объектива отсутствует, глубина резко изображаемого пространства у него настолько велика, что позволяет производить четкое фотографирование объектов, начиная с 50 см и более. Внешнее кольцо для управления диафрагмой (относительное отверстие 1:4, 1:5,6; 1:8; 1:11) выполнено с шестерней, оно имеет прямой зуб с модулем зацепления $m = 1$. Диаметр шестерни по начальной окружности — 50 мм. Шестерня может быть использована в боксе как привод для изменения относительного отверстия объектива.

Для фотокамеры «Старт» с зеркальным видоискателем рассчитан и изготовлен специальный объектив для подводной съемки — «Гидроруссар 5». Конструкция объектива «Гидроруссар 5» (рис. 11) позволяет монтировать его в фотокамеры с зеркальными видоискателями. Угол изображения объектива «Гидроруссар 5» на воздухе — 97° ; в воде — $2\beta = 70^\circ$. Система наводки на резкость на объективе отсутствует, глубина резко изображаемого пространства — от 50 см до бесконечности. С помощью его диафрагмы можно регулировать величину относительного отверстия в диапазоне: 1:4; 1 : 5,6; 1:8; 1 : 11. Внешнее кольцо для управления диафрагмой так же, как и у «Гидроруссара 3», имеет шестерню с прямым зубчатым зацеплением.

«Гидроруссар 5» был неоднократно испытан автором в экспедициях и показал в эксплуатации хорошие качества. У объектива значительно исправлены аберрации. Искажения по краям сведены к минимуму, объектив дает равномерную освещенность как в центре кадра, так и по краям.

Применение гидросъемочных объективов намного повышает возможность подводного фотографа. Кроме того, использование высокочувствительной пленки и коррекционных светофильтров позволяет фотографировать в неблагоприятных условиях.

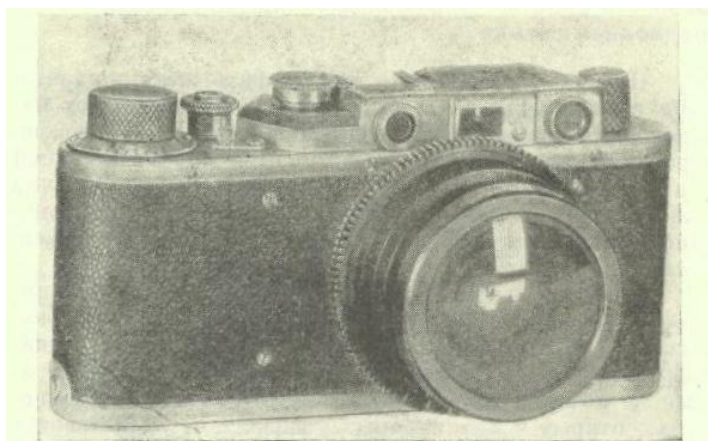


Рис. 10. Фотообъектив «Гидроруссар 3», установленный
в аппарате «Зоркий»

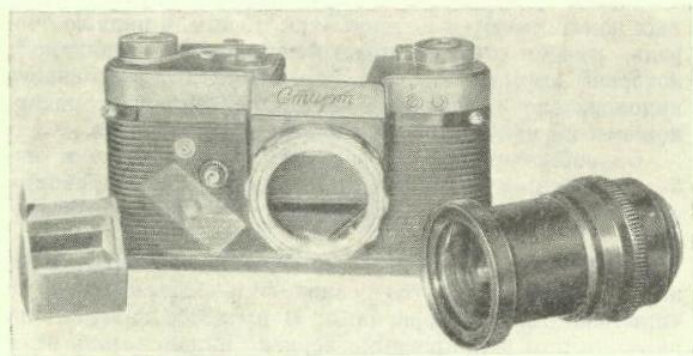


Рис. 11. Внешний вид объектива «Гидроруссар 5»
Фото автора

Особенности работы с зеркальными видеоискателями при подводной съемке

Практика подводного фотографирования аппаратами с зеркальными видеоискателями подтверждает надежность таких систем. Однако подводное фотографирование, как правило, производится при пониженной прозрачности и освещенности в воде. Поэтому весьма желательно пользоваться системами зеркальных видеоискателей при полностью открытой диафрагме объектива.

При фотографировании с искусственным освещением и для получения большей глубины резкости, объективы фотоаппаратов, как правило, значительно диафрагмируются. Работа с двухобъективными камерами, у которых объектив видеоискателя всегда полностью открыт, в затемненных условиях не представляет труда.

У таких камер объектив зеркального видеоискателя и основной съемочный объектив наводятся на фокус одновременно. Матовая поверхность зеркального видеоискателя хорошо освещена, поэтому изображение отчетливо видно и может быть отрегулировано достаточно резко.

Однако у зеркальных видеоискателей двухобъективных камер имеются и недостатки. К ним, в первую очередь, нужно отнести пространственный параллакс*, который вызывается тем, что объектив зеркального видеоискателя и основной съемочный объектив расположены на некотором расстоянии друг от друга.

Однообъективные же зеркальные фотокамеры избавлены от параллакса. Кадрирование и фокусирование изображения у них производится через один объектив.

Для более надежной работы однообъективные фотокамеры комплектуются основными объективами с «прыгающими» диафрагмами. В процессе наводки на резкость или кадрирования зеркало видеоискателя этих камер опущено вниз, а диафрагма объектива полно-

* Параллакс — смещение оптических осей объектива и видеоискателя.

стью открыта. В момент экспонирования зеркало видоискателя поднимается вверх, освобождая путь для лучей света, идущих через объектив к фотопленке, а диафрагма «прыгает» — закрывается до заранее установленного положения.

Фотокамеры «Старт» и «Салют» комплектуются объективами «Гелиос-44» и «Индустар-29», снабженными «прыгающей» диафрагмой. Однако для подводной фотосъемки «Гелиос-44» имеет недостаточный угол изображения на воздухе, равный 40° .

Аппарат «Старт» может быть использован для подводной съемки с короткофокусным объективом «Мир-1», угол изображения которого на воздухе равен 60° . Однако он не снабжен устройством «прыгающей» диафрагмы.

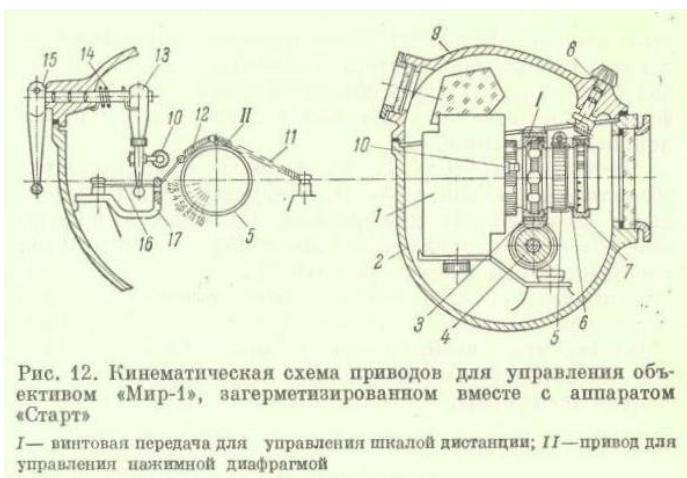
Устройство для «нажимной» диафрагмы объектива «Мир-1»

Для подводных съемок автором был спроектирован и изготовлен опытный образец устройства «нажимной» диафрагмы объектива «Мир-1». Это устройство монтируется в герметизирующий бокс вместе с аппаратом «Старт». Схема устройства приведена на рис. 12. Фотоаппарат 1 вмонтирован в корпус бокса 2, закрытого крышкой 9.

Во время подводной съемки пловец производит наводку на резкость через объектив с полностью открытой диафрагмой. Для этого он пользуется устройством I, состоящим из винтового колеса 3, насаженного на объектив 6, и винтовой шестерни 4. Чтобы спустить затвор аппарата и отснять кадр, он нажимает рычаг 15. Потянув его на себя, он поворачивает через ось рычаг 13 с развилкой на конце.

Рычаг 13 регулируется по длине и предназначен для управления диафрагмой II и для употребления кнопки спуска затвора 10.

Нижним концом рычаг цепляется за капроновый поводок 16 и при повороте тянет его из кронштейна 17. Поводок через пружину 12 поворачивает хомут 5, жестко посаженный на обойму диафрагмы. Обойма



диафрагмы поворачивается против часовой стрелки до определенного значения относительного отверстия (4; 5,6; 8; 11 или 22). Полный ход рычага рассчитан на всю длину поводка до отметки 22, в этом случае пружина 12 не растягивается и работает как жесткое звено. Если фиксатор диафрагмы покажет промежуточное значение, то кольцо 5 остановится около него. Пружина 12, растягиваясь, позволит нажать на кнопку 10 при помощи рычага 13.

После экспонирования кадра фотограф отпускает рычаг 15.

Рычаг, под действием пружины скручивания 14, стремится возвратиться в первоначальное положение. Пружина 11, растянутая при экспонировании, меньшей жесткости, чем пружина 12. Она сожмется и повернет кольцо 5 в начальное положение. Жесткость пружины 11 рассчитана на преодоление трения в кольцах диафрагмы и натягивание капронового поводка-жилки 16.

Пульсация диафрагмы при экспонировании будет постоянной, она зависит от поворота рычага 15.

Наводка на резкость и кадрирование обеспечены этим устройством при открытом объективе, максималь-

ное значение относительного отверстия которого равно 1 : 2, 8.

Установка нужного значения диафрагмы, зависящего от освещенности, производится под водой. Во время подводной фотосъемки фотограф, попадая из более освещенного участка в менее освещенный, может менять значение относительного отверстия. Для этого необходимо повернуть маховик 8, связанный через ось с конической шестерней. Коническая шестерня сцепляется с зубчатым сектором 7 на фиксируемом кольце диафрагмы. Поворотом маховика 8 перемещают зубчатый сектор 7 до требуемой отметки диафрагмы.

Система привода к диафрагме в боксах для аппарата «Старт» была проверена в нескольких экспедициях группой подводных исследований «Союзморниипроекта». Результаты проверки показали, что подводное фотографирование аппаратами с зеркальными видеоискателями намного упрощается при наличии на объективе устройства «прыгающей», или «нажимной» диафрагмы.

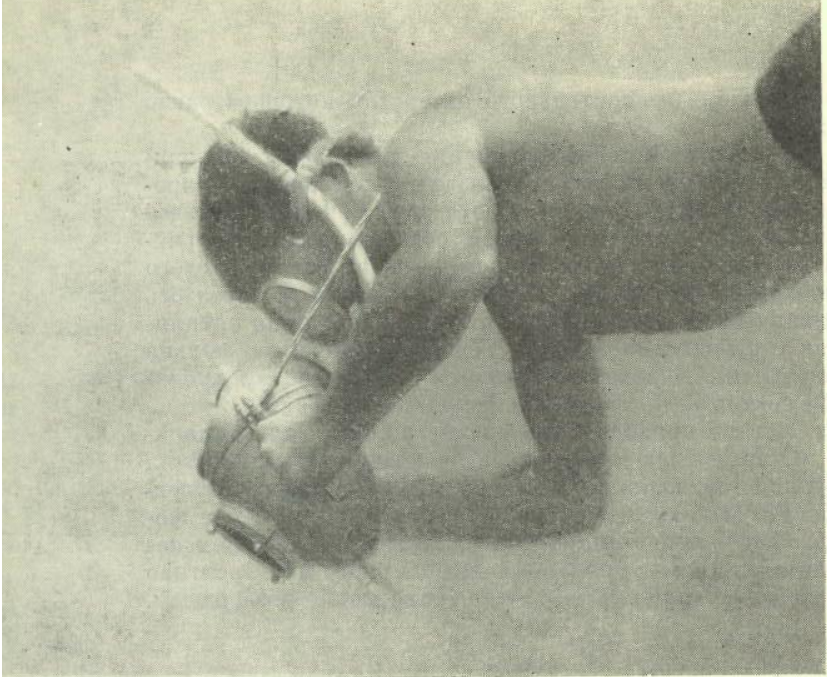


Фото автора

Подводная фотосъемочная аппаратура

Для фотографирования под водой, как уже говорилось выше, обычная фотосъемочная аппаратура заключается в герметизирующие боксы.

В настоящее время известно несколько конструкций подводных аппаратов, специально изготовленных для подводной съемки. Одна из первых — французская камера «Фото-Калипсо» выпущена известной фирмой Спиротехник, занимающейся разработкой легководолазного снаряжения. Корпус фотоаппарата представляет собой прочную коробку, которая изолирует внутреннюю конструкцию камеры от воды. Все приводы управления уплотнены сальниковыми устройствами и выведены на корпус фотоаппарата. Оптика объектива фотокамеры не соприкасается во время съемок с водой, поэтому «Фото-Калипсо» применим не только для подводных съемок.

Аппарат был испытан на глубинах до 80 м и показал хорошие эксплуатационные качества.

Наличие широкого ассортимента обычной фотосъемочной аппаратуры, которую выпускает отечественная промышленность, требует тщательного выбора камеры для подводной съемки. Остановимся подробнее на способах герметизации фотокамер и требованиях, предъявляемых к фотокамерам, пригодным для подводного фотографирования.

Выбор фотоаппарата для съемки под водой

Фотокамера, используемая для съемок под водой, оснащается светосильным и короткофокусным объективом.

Кроме того, на ней монтируется минимальное количество надежно работающих приводов управления. Находясь в необычных условиях, под водой, фотограф должен возможно реже отвлекаться для наладки и регули-

ровки фотокамеры. Надежность работы фотокамеры под водой — одно из основных условий подводного фотографирования. Если в наземных условиях доступ к фотокамере не затруднен, то при подводных съемках необходимость доступа к изолированному боксом фотоаппарату вызывает, как правило, прекращение подводных работ и выход водолаза на поверхность.

И, конечно, фотокамера должна быть оснащена надежным видеоискателем, позволяющим пользоваться им под водой. Как показал опыт подводного фотографирования на глубинах до 100 м, наибольшее число ошибок при фотосъемке получается из-за несовершенной конструкции видеоискателей.

Современные фотокамеры по типам видеоискателей делятся на две группы: 1) фотокамеры с оптическим видеоискателем и дальномером; 2) фотокамеры с зеркальным видеоискателем, являющимся одновременно и дальномером.

Фотокамеры первой группы имеют видеоискатели, смещенные относительно оптической оси объектива; параллакс, вызванный этим смещением, бывает иногда значительным. Дальномеры у этих камер механически связаны с объективами, и ошибки при фокусировании и кадрировании могут быть выявлены только после обработки пленки.

Опыты по изготовлению герметизирующих фотобоксов показали, что видеоискателями и дальномерами фотокамер первой группы пользоваться в боксах невозможно.

Дело в том, что изображение в оптическом видеоискателе сфокусировано на расстоянии 1,5—2 см от фотоаппарата. На это расстояние должен приблизиться глаз снимающего к видеоискателю. Но глаза водолазного специалиста, защищенные шлемом или маской, удалены от фотобокса на расстояние 10—20 см. Поэтому изображения в видеоискателе он не видит. Это обстоятельство исключает возможность использования оптического видеоискателя при подводном фотографировании.

Для фотокамер такого типа обычно применяют рамочные видеоискатели, смонтированные на верхней крышке фотобокса.

Рамочный видоискатель имеет значительный параллакс, определяемый смещением оптической оси объектива относительно оптической оси видоискателя. Это несовпадение осей вызывает систематические ошибки при фотографировании близко расположенных объектов. Кроме того, рамочным видоискателем невозможно пользоваться при фотосъемках в водах с низкой прозрачностью, где практически отсутствует освещенность. Как известно, в таких случаях при подводном фотографировании употребляют просветленные приставки, крепящиеся к фотобоксу. Возможность просматривания объекта сквозь фотокамеру и приставку при рамочном видоискателе полностью исключается.

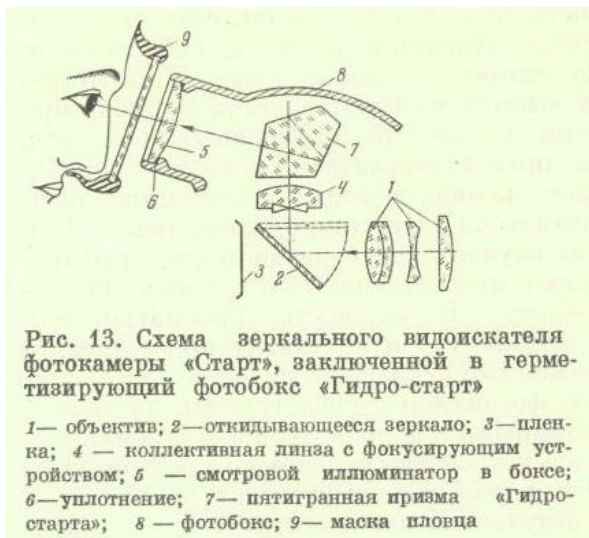
Особенностью фотокамер второй группы, делающей их наиболее пригодными для подводной фотосъемки, является оптическое устройство зеркального видоискателя. У этих камер полностью отсутствует параллакс, а фокусировка и результаты диафрагмирования объектива находятся под полным контролем фотографа.

Зеркальный видоискатель у камер этой группы состоит из следующих основных частей: откидывающегося зеркала, плоско-выпуклой коллективной линзы*; пятигранной призмы, так называемой пента-призмы; трехлинзового окуляра.

Результаты анализа устройства видоискателя и работы существующих отечественных фотокамер подсказали, что наиболее полно этим требованиям отвечают фотокамеры «Старт», «Зенит» и «Салют».

Фотоаппарат «Старт» — дальнейшее развитие фотоаппарата «Зенит». Он рассчитан на 35 мм пленку с форматом кадра 24 X 36 мм. Шторный затвор, сблочкированный с устройством для перевода пленки, имеет диапазон выдержек от 1 до $\frac{1}{1000}$ сек. Взвод затвора осуществляется рычагом, вмонтированным в счетчик кадров.

* У некоторых камер этой группы в центре матовой поверхности коллективной линзы находится фокусирующее устройство. Оно состоит из двух пересекающихся прозрачных клиньев. Фокусирующее устройство особенно удобно, так как не связано никакими рычагами с механизмом выдвижения объектива и нормально действует с любыми сменными объективами.



Оптическая схема фотокамеры «Старт» позволяет визировать и фокусировать по матовому стеклу и оптическому дальномеру в коллективной линзе.

Фотоаппарат («Старт» комплектуется светосильным короткофокусным объективом «Мир-1» (фокусное расстояние — 37 мм; относительное отверстие — 1 : 2,8; угол поля зрения — 60°; пределы фокусировки — от 0,7 до бесконечности). Высокая разрешающая способность (45 линий в центре поля; 25 линий на краю поля) в сочетании с зеркальным видоискателем фотокамеры дают возможность успешно применять «Мир-1» при подводном фотографировании.

Фиксированная диафрагма объектива «Мир-1» создает предпосылки для монтажа в изолирующем фотобоксе устройства «прыгающей» диафрагмы. Такая конструкция при наличии зеркального видоискателя намного повышает возможности фотосъемки под водой. При пониженной освещенности полностью открытая перед съемкой диафрагма сильно упрощает как кадрование снимаемого объекта, так и фокусировку объектива.

Фотокамера «Старт», в отличие от фотокамеры «Зенит», имеет съемную пятигранную призму и трехлинзовый окуляр. Замена этой системы одной призмой позволяет ловить фокус с изображением на расстоянии 10—25 см от фотокамеры (рис. 13).

Бокс для фотоаппарата «Старт» — «Гидро-старт»

Сочетание системы наводки на резкость и кадрирование через объектив, высокие оптические качества объектива, надежность конструкции, удобное расположение приводов управления и другие технические показатели аппарата «Старт» сыграли основную роль в проектировании и изготовлении модели бокса для этой фотокамеры (рис. 14). Эта модель называется «Гидро-старт». Он имеет приспособление для оптической наводки на резкость и такое расположение приводов управления, которое обеспечивает удобную наводку на резкость, кадрировку и спуск затвора аппарата.

Бокс отличается сравнительно небольшим весом. Без фотоаппарата он весит 4,2 кг, с аппаратом — 5,1 кг. Плавучесть бокса без камеры в рабочем состоянии равна +100 г.

Разновидность «Гидро-старта» — фотобокс с устройством для быстрого монтажа фотокамеры.

Приспособление для оптической наводки, примененное в конструкции бокса, — пятигранная призма и линза двукратного увеличения. Призма крепится в гнезде аппарата «Старт» взамен пентапризмы с окуляром и служит для направления лучей света, идущих через объектив к глазу фотографа.

В случае, когда в крышку бокса вместо плоско-параллельного стекла крепится линза двукратного увеличения, устанавливается отчетливое изображение в $\frac{2}{3}$ натуральной величины (при плоско-параллельном стекле изображение имеет размер $\frac{1}{3}$ натуральной величины). Вся оптическая система дает прямое, видимое и обратно ориентированное изображение.

Расположение приводов управления у всех боксов для подводного фотографирования — один из важней-

ших факторов, определяющих маневренность при съемке и качество снимков. Если, к примеру, ручки управления шкалами метража объектива и диафрагмы находятся на передней панели бокса, то для наладки его приходится поворачивать на 180°. В такой момент фотограф вынужден отрываться от видоискателя, следовательно, он теряет время, а зачастую и снимаемый объект.

Весьма важную роль играет и правильное расположение рычага спуска затвора аппарата. Он должен быть расположен так, чтобы фотограф мог управлять им одним пальцем без отрыва руки от бокса. Кроме того, нужно учитывать, что не исключена возможность работы под водой в гидрокомбинезоне, перчатки которого намного снижают чувствительность и гибкость пальцев рук.

Описанные выше недостатки наблюдаются почти у всех существующих боксов. По возможности эти недостатки в новом варианте устранены. Намного упростило конструкцию бокса одновременное использование кадрирования и оптической наводки через объектив.

Применяя винтовую передачу как привод для фокусировки объектива, удалось вывести ручки управления на боковую стенку бокса при малых габаритах передачи. При передаточном отношении, равном 0,43, регулирование объектива от 0,7 м до бесконечности осуществляется за два оборота рукоятки привода. Для контроля за метражом на внешней части винтового колеса наносятся шкалы, а на рукоятке привода — риска, указывающая положение объектива.

Наличие на Объективе «Мир-1» фиксированной диафрагмы позволяет быстрым перебросом рычага полностью открывать и закрывать диафрагму до нужного положения.

Преимущества рычажного взвода затвора аппарата «Старт» полностью использованы при конструировании привода взвода. Можно, не отрываясь от рукоятки транспортировки, осуществить двумя-тремя качательными движениями большого пальца правой руки взвод затвора с одновременной перемоткой пленки. Спуск затвора камеры производится указательным

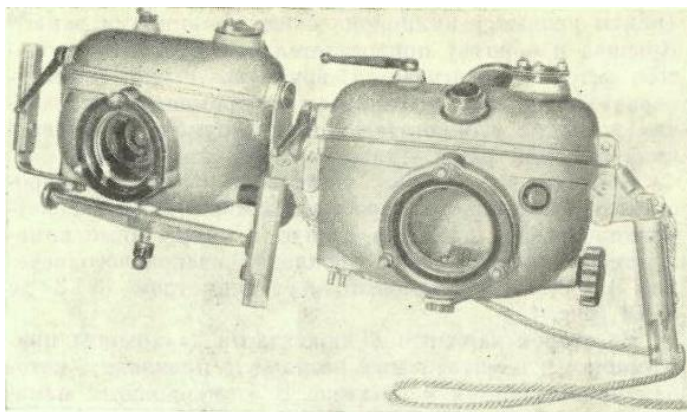


Рис. 14. Герметизирующие фотобоксы «Гидро-старт 1» (слева) и «Гидро-старт 2» (справа)
Фото автора

пальцем правой руки без отрыва от рукоятки транспортировки. Достаточная свобода действия рук обеспечивает надежность работы в резиновых перчатках гидрокомбинезона.

На передней части корпуса выполнен фланец диаметром 115 X 77 мм, к которому крепится при помощи шайбы или бленды стекло иллюминатора.

При эксплуатации бокса по наличию пузырьков воздуха, выходящего из него в воде, можно судить о надежности соединений бокса. В данном случае может быть использован обыкновенный велосипедный ниппель. Накачивая бокс, проверяют перед погружением его соединения.

В нижней части корпуса слева помещен привод наводки на резкость, справа двумя шпильками может быть прикреплен кронштейн для бокса электронной лампы-вспышки (смотрите рис. 14). В самой нижней части корпуса имеется упорная бобышка стяжного винта.

Рама стяжного устройства крышки и корпуса в первом варианте крепится двумя винтами с боков крышки

(винты являются цилиндрическими шарнирами рамы). Крышка к корпусу прижимается одним стяжным болтом, который затягивается вручную. Рычаг болта — неразъемный, что освобождает от применения в рабочих условиях вспомогательного инструмента. Поперечина стяжной рамы — таврового сечения.

Крышка с корпусом в первой модели «Гидро-старта 1» соединяется простым замком. В этой конструкции крышка входит в корпус, а между ними помещается либо резиновая прокладка квадратного сечения 3 X 3, либо резиновый жгут диаметром от 3 до 5 мм (рис. 15).

Во втором варианте «Гидро-старта 2» крышка прижимается к корпусу через резиновую прокладку, которая приклеивается к крышке. В этом варианте изменено зажимное устройство. Вместо упорного винта (см. рис. 14, левый бокс) применены две рукоятки с эксцентрично посаженными на них накидными крючками (см. рис. 14, правый бокс).

Зажимное устройство фиксируется двумя штифтами, предохраняющими его от случайной разгерметизации.

Оба крепления крышки и корпуса боксов во время испытаний и эксплуатации работали надежно, полностью герметизируя фотокамеру на глубинах до 50 м.

Более удобной в эксплуатации оказалась вторая конструкция с двумя накидными ручками. Монтаж и демонтаж камеры в этом случае осуществляется без усилия, быстро и удобно.

Для контроля за работой фотокамеры и использования оптического видоискателя в задней части крышки помещен фланец для линзы двукратного увеличения. Сверху крышки расположены: иллюминатор диаметром 44 X 24 мм для контроля за транспортировкой пленки и рычаг для взвода затвора и перемотки пленки. На боковой поверхности крышки находится рычаг для спуска затвора.

Прижимные шайбы иллюминаторов крепятся соответственно тремя гайками через шпильки к корпусу. Это крепление надежно, оно равномерно и плотно прижимает резиновую прокладку и удобно при монтаже и демонтаже бокса (см. рис. 15).

Приводы управления смонтированы на простейших сальниковых уплотнениях — резиновых кольцах круглого сечения (рис. 16). Такая система уплотнения показала себя с лучшей стороны при эксплуатации как в морской, так и в речной воде на глубине до 50 м

Фотокамера крепится к корпусу бокса через кронштейн, который двумя гайками, завинчивающимися на шпильки вручную, прижимается к приливам в корпусе бокса. В момент крепления крышки к корпусу бокса все приводы автоматически встают на свои места.

Корпус и крышка бокса отлиты из алюминиевого сплава. Плоскость разъема крышки и корпуса смещена относительно плоскости оптической оси объектива на 15° (см. рис. 12). Формы крышки и корпуса выпуклые, рассчитанные на давление воды до 10 атм при толщине стенок литья 5-6 мм.

Детали бокса изготовлены из дюралюминия и покрашены масляной эмалевой краской с предварительным анодированием.

В целях избежания коррозионных процессов, вызываемых микротоками, возникающими в местах контактов двух различных металлов, помещенных в морскую воду, детали боксов изготавливаются из однородного материала. Исключение составляют крепежные изделия:



Рис. 15. Элемент герметизации бокса «Гидро-старт» — резиновая прокладка между крышкой и корпусом бокса

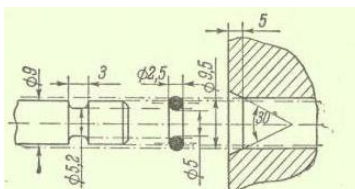


Рис. 16. Элемент герметизации бокса «Гидро-старт» — сальниковое уплотнение осей для приводов управления фотокамерой «Старт». Резиновое кольцо с натягом вставляется во втулку; упругой деформации резины достаточно, чтобы выдерживать внешнее давление до 100 атм

винты, болты, шпильки, оси, изготовленные из сортов нержавеющей сталей, не подверженных коррозии в морской воде.

В отверстия иллюминаторов вставлены плоско-параллельные цилиндрические диски из силикатного стекла марки «Крон-8». Плоские поверхности стекол иллюминаторов полируются.

Описанные выше варианты боксов для подводного фотографирования разработаны применительно к камере «Старт». Однако при незначительном изменении системы приводов управления и при наличии рамочного видоискателя этот бокс можно использовать также и для камер типа «Зенит», «ФЭД», «Зоркий», «Киев», «Ленинград».

Прочностные расчеты иллюминаторов фотобокса

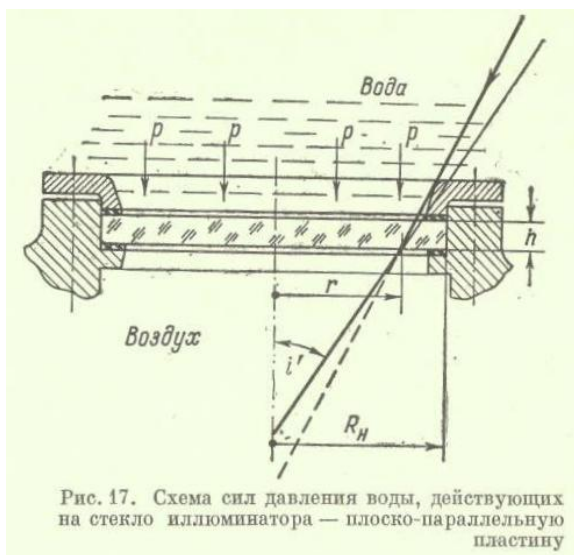
Прочность иллюминаторов фотобокса можно рассчитать по методу, разработанному проблемной лабораторией оптики ЛИТМО. При этом исходить надо из условий погружения камеры на различные глубины. В качестве примера рассчитаем прочность иллюминаторов фотобокса, изготовленных как плоско-параллельные пластины из оптического стекла марки «Крон-8» (рис. 17).

При расчете используем следующие величины:

- r - радиус иллюминатора, ограниченный углом зрения объектива..... 35 мм
- i' - угол преломления луча света в пластине 31°
- P - давление воды на глубине 100 м... 10 кг/см²
- $\sigma_{изг}$ - допускаемые напряжения на изгиб в стекле марки «Крон-8»..... 7,5 кг/мм²
- μ - коэффициент Пуассона..... 0,209
- E - модуль упругости..... 8,23 кг/мм²

Принимая пятикратный запас прочности, имеем:

$$[\sigma_{изг}] = 7,5/5 = 1,5 \text{ кг/мм}^2.$$



Толщину иллюминатора H подсчитываем по формуле:

$$h = \frac{2r \operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{4r^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + 4 \left[\frac{[\sigma_{изг}]}{1,2P} - \operatorname{tg}^2 \alpha \right] r^2}}{2 \left[\frac{[\sigma_{изг}]}{1,2P} - \operatorname{tg}^2 \alpha \right]}$$

$$= \frac{2 \cdot 40 \cdot 0,81 \pm \sqrt{4 \cdot 1600 \cdot 0,656 + 4 \left[\frac{1,5}{1,2 \cdot 0,1} - 0,656 \right] 1600}}{2 \left[\frac{1,5}{1,2 \cdot 0,1} - 0,656 \right]}$$

$$= \pm 14,5 \text{ мм};$$

$h_1 = 14,5 \text{ мм}$; h_2 — величина отрицательная.

Для двукратного запаса прочности $[\sigma_{изг}] = 3,75 \text{ кгс/мм}^2$. В этом случае получим толщину $h = 8,3 \text{ мм}$. Учитывая возможность погружений в легко-водолазном снаряжении (предел 40 м), оставляем толщину стекла $h = 8,5 \text{ мм}$.

Герметизация широкоплечных фотокамер

Для получения подводных снимков высокого качества могут быть использованы широкоплечные фотоаппараты. В зарубежной практике подводных фотосъемок фотографы добиваются отличных результатов камерами «Роллейфлекс», которые заключаются в специальные фотобоксы. Модели таких фотобоксов довольно разнообразны. Одним из лучших фотобоксов считается камера «Роллей-Марина», которая позволяет применять зеркальный видоискатель фотоаппарата, производить регулировку всех приводов управления и устанавливать под водой на объектив различные светофильтры.

Единственный недостаток этой системы — наличие у камер «Роллейфлекс» двух объективов (один служит видоискателем: через него производится и кадрирование и наводка на резкость; другой — основной, производящий фотосъемку). Два объектива создают значительный параллакс, несколько снижающий возможности подводного фотографирования этой камерой. Такая система не дает хороших результатов и при макросъемках под водой. Больше того, этот вид съемок требует особенно точной юстировки насадочных линз для каждого объектива в отдельности, что сильно усложняет и без того сложную работу подводного фотографа.

Отечественной промышленностью освоен зеркальный фотоаппарат высокого класса «Салют» — однообъективный фотоаппарат, рассчитанный на применение катушечной неперфорированной пленки шириной 60 мм.

Основной объектив аппарата — «Индустар-29» — имеет относительное отверстие $1 : 2,8$ и фокусное расстояние 80 мм, угол поля зрения этого объектива на воздухе равен 55° . «Индустар-29» снабжен «прыгающей» диафрагмой, что позволяет, установив по шкале нужное значение диафрагмы, производить наводку на резкость и кадрировку при полностью открытой диафрагме. Во время спуска затвора объектив автоматически диафрагмируется до заданного значения.

К фотоаппарату разработан и широкоугольный объектив «Мир-3» с «прыгающей» диафрагмой.

Контроль за резкостью изображения можно производить по матовой поверхности коллективной линзы, точность наводки проверяется по клиновому устройству, врезанному в центр матового стекла. Отсутствие механических приводов к устройству наводки на резкость повышает надежность фотосъемки.

Фотоаппарат «Салют» комплектуется двумя сменными кассетами с автоматическими счетчиками кадров.

Фотокамера «Салют» имеет все технические предпосылки для использования ее в подводной фотографии. Особенно ценно наличие у фотоаппарата быстросменных кассет. Возможность быстрой перезарядки аппарата и применение широкоугольного объектива «Мир-3» дает возможность получать «Салютом» подводные снимки высокого качества.

Герметизирующий бокс для фотоаппарата «Салют»

Бокс для аппарата «Салют» спроектирован с учетом конструктивных особенностей фотоаппарата и изготовлен из листов нержавеющей стали. Форма корпуса бокса выпуклая (рис. 18), в его нижней цилиндрической части помещается фотокамера, в верхней — система зеркального видоискателя, для которого спроектирована пятиугольная призма — пента-призма. Основной иллюминатор, объектив, откидывающееся зеркало, матированная коллективная линза с призматическими клиньями, пента-призма и малый иллюминатор образуют оптическую систему видоискателя и служат для контроля за резкостью изображения.

Бокс состоит из корпуса и крышки, соединяемых между собой винтовым замком. Замок имеет трехзачехную прямоугольную резьбу. Винтовое кольцо замка неподвижно укрепляется на корпусе бокса — гайка смонтирована на крышке и прижимает ее к корпусу через резиновую прокладку. Аппарат крепится через кронштейн к крышке бокса так, что даже при откры-

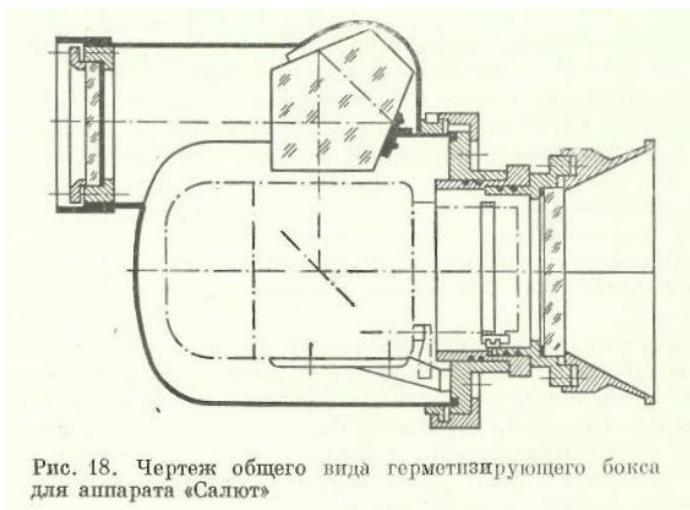


Рис. 18. Чертеж общего вида герметизирующего бокса для аппарата «Салют»

вашей бокса остается налаженным и подготовленным к эксплуатации. Для перезарядки пленки необходимо повернуть гайку замка и вынуть аппарат, установленный на кронштейне, из бокса.

Смена кассет происходит на установленном аппарате без его отсоединения от кронштейна. Фотокамера с новой кассетой вставляется в корпус бокса и запирается поворотом гайки замка на 60° . Приводы к диафрагме и дальномеру объектива вмонтированы в крышку бокса, которая является одновременно и передним иллюминатором.

Один раз смонтированный аппарат на крышке бокса с налаженными приводами к диафрагме и метражу объектива может быть использован для многочисленных подводных съемок без сколько-нибудь сложных дальнейших наладок. В процессе фотографирования меняются только кассеты; обыкновенную черно-белую негативную пленку можно заменять на цветную и наоборот.

Приводы управления диафрагмой и метражом объектива смонтированы на телескопических втулках, вставленных концентрично одна в другую. Поворотом

главного иллюминатора вокруг оси устанавливают значение диафрагмы до нужной отметки. После этого фиксатором соединяют втулку диафрагмы с неподвижной частью фланца и производят паводку на резкость, регулируя дистанционную шкалу объектива.

Герметизация втулок осуществляется сальниковыми резиновыми кольцами круглого сечения. Кольца изготовлены из маслостойкой резины, смазаны техническим вазелином, так что больших усилий на регулировку объектива тратить не приходится.

Впервые в технике подводного фотографирования здесь применена телескопическая система привода для управления фотоаппаратом. Подводный фотограф может, не отрываясь от видоискателя, производить наводку на резкость. В это время он одной рукой держит камеру за рукоятку, вращая другой рукой тубус главного иллюминатора.

На крышке бокса имеется рычаг спуска пружины затвора аппарата. Поворачивая рычаг вокруг оси, нажимают клиновым кулачком спусковую кнопку.

На корпусе бокса установлена рукоятка взвода затвора и перемотки пленки. Чтобы соединить рукоятки перемотки; пленки бокса с рукояткой аппарата, первую необходимо утопить внутрь корпуса. В этом случае глянцевого замка одной рукоятки входит в паз втулки, насаженной на вторую рукоятку. Для демонтажа фотокамеры из бокса рукоятку перемотки пленки необходимо освободить от шлицевого зацепления, вытянув ее из бокса на 5 — 7 мм. Контроль за количеством снятых кадров производится через наблюдательное окно боковой поверхности бокса.

Бокс может быть использован с лампой-вспышкой.

Бокс для лампы-вспышки крепится снизу двумя винтами, электроцепь синхроконтakta — коаксиальный кабель — вводится в бокс для аппарата через штуцер, который можно заглушить пробкой. Корпус бокса для осветителя изготавливаются из того же материала, что и бокс для аппарата.

Выбор конструктивных вариантов боксов для источников освещения

Оптимальная схема расположения лампы спереди и сбоку от фотокамеры может иметь два конструктивных решения.

В первом случае блок питания и источник освещения боксируются отдельно. Блок питания, состоящий из батарей, конденсаторов, сопротивлений и трансформаторов поджига, боксируется автономно либо в боксе фотокамеры, либо в самостоятельном боксе, крепящемся к боксу фотоаппарата. Источник освещения — импульсная лампа — заключается тогда в водонепроницаемый кожух и на кронштейне выносится вперед и в сторону от фотокамеры. У такой схемы существуют две гибкие электросвязи питания: электроцепь импульсной лампы и электроцепь синхроконтakta.

При монтаже блока питания внутри бокса фотоаппарата синхроконттакт не герметизируется. Кабель питания лампы при монтаже его вне бокса должен быть надежно защищен от повреждений, могущих возникнуть во время съемок при соприкосновении со снимаемыми объектами (острые края затонувших судов, каменные выступы окал и т. д.). При разрушении изолирующего покрытия у конденсатора возможен разряд большой емкости в воду, что может привести к несчастному случаю. При герметизации кабеля внутри трубчатого кронштейна теряется гибкая регулировка положения лампы относительно источника освещения, но схема тогда становится в значительной мере безопасной в эксплуатации.

Автором совместно с сотрудниками «Союзморнии-проекта» спроектирован бокс по этой схеме для аппарата «Салют» и для электронной импульсной лампы по схеме «Луч-59» (ка один источник освещения — лампу ИФК-120). Лампа вынесена на жестком кронштейне вперед и в сторону от бокса камеры. Кронштейн регулируется по длине. Для макросъемок промежуточный элемент кронштейна-удаляется и рефлектор крепится непосредственно у камеры.

При малых расстояниях до снимаемого объекта и при достаточной прозрачности воды можно приме-

пять вторую схему. При съемках на расстоянии до снимаемого объекта в 2—3 м необходимо использовать первую схему.

Второе конструктивное решение — это создание общего удлиненного корпуса бокса для блока питания и источника освещения.

Такая конструкция помимо надежности и безопасности имеет ряд преимуществ. Так, электрическая связь от блока освещения к боксу фотокамеры осуществляется по кабелю синхроконтakтного устройства. Кабель надежно герметизируется в резиновом шланге, поэтому если в результате эксплуатации и случится повреждение кабеля синхроконтakта, то разряд конденсаторов произойдет через лампы, и в дальнейшем конденсаторы не смогут быть заряжены. Кроме того, в совмещенном боксе есть устройство, позволяющее менять угол освещения, что очень важно при съемках под водой. И, наконец, в этой конструкции надежно работают механизмы включения и выключения блока питания, а также изменения размеров кронштейна под водой, причем величину плеча кронштейна можно регулировать по длине от 20 см до 1,2 м.

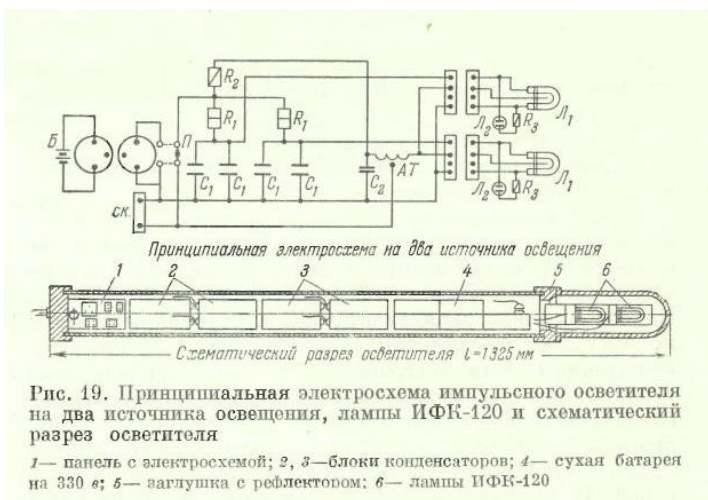
Автором был изготовлен импульсный источник освещения и по второй схеме (рис. 19). В нем применены две импульсные лампы ИФК-120.

Бокс состоит из следующих деталей:

1. Корпус — патрубок цилиндрической формы, длиной 1 м. Он изготовлен из полихлорвиниловой трубы диаметром 80 X 90 мм*. С обоих концов корпуса нарезана резьба для крепления заглушки и кожуха для рефлектора.

2. Кожух для рефлектора, представляющий накидную гайку с головкой, выполненной из оргстекла. Все заготовки кожуха были склеены клеем — раствором стружки оргстекла в дихлорэтane. Внутри кожуха помещаются на кронштейне две лампы ИФК-120. При замене ламп кронштейн легко вынимается из кожуха.

* Этот размер определен диагональю квадрата (при поперечном сечении четырех элементов батареи), который получается при установке батареи типа ЗЗО-ЭВМЦГ-1000.



3. Задняя крышка — глухая накидная гайка, причем уплотнение создается при навинчивании крышки на корпус кожуха рефлектора за счет резиновой прокладки. Сквозь заглушку просверлены два отверстия, одно из них для вывода штуцера синхроконтakta, второе — для оси привода к переключателю. К внутренней поверхности заглушки крепится панель с электросхемой блока питания.

4. Узел крепления и регулировки угла освещения, состоящий из хомута, кронштейна, стяжного болта, гайки, фиксатора.

5. Блок питания и поджига, в который входят: сухая батарея на 330 в, укрепленная на одной из опор вдоль корпуса; четыре конденсатора, емкостью каждый по 1300 мер, включенные параллельно, по два на одну лампу; панель, на которой смонтирована электросхема с трансформатором поджига.

Для проверки герметичности соединений на кожухе рефлектора установлен ниппель от велосипедной камеры.

Правила сборки и пользования осветителем

Осветитель собирается в строго определенной последовательности.

Прежде всего к нижней заглушке крепится панель с электросхемой. Над панелью устанавливаются четыре конденсатора (по два в каждом блоке), которые закрепляются электроизоляцией к продольным планкам, идущим от панели. Затем монтируется батарея. Однако сначала надо скомпоновать ее элементы, причем так, чтобы они могли уместиться в вытянутом цилиндрическом корпусе бокса.

После того как конденсаторы и батарея будут установлены, в общий вытянутый блок монтируется электроцепь и подключаются лампы (как контрольные, так и основные — осветительные). При этом нужно помнить, что блок питания должен свободно входить в корпус бокса.

Последнее, что требуется сделать при сборке осветителя—это завинтить нижнюю заглушку (она должна свободно проворачиваться совместно с блоком питания) и установить верхнюю заглушку — рефлектор.

После сборки необходимо проверить работоспособность вспышки. С этой целью рукояткой, выведенной наружу корпуса бокса, включают питание и контролируют зарядку конденсаторов по сигналам неоновых ламп. Нужно несколько раз разрядить конденсаторы через лампы- вспышки. В этом случае проверяется и время зарядки конденсаторов и надежность работы всей системы. Желательно, чтобы конденсаторы заряжались не более 10 сек.

Электрическая цепь синхроконтakta герметизируется резиновым шлангом, после чего проверяется герметичность соединения.

Готовый к действию осветитель может быть использован для съемок. Для этого присоединяют кронштейн осветителя к фотобоксу; герметизируют синхроконттакт, закрепляя резиновый шланг на штуцере бокса. Собранный систему — камеру и осветитель — проверяют в надводном положении, сделав 1—2 пробных снимка.

В целях фотографирования небольших объектов под водой инженером «Союзморниипроекта» В. Менши-

новым спроектирован и изготовлен портативный импульсный осветитель (лампа-вспышка) ИО-П. Этот осветительный прибор состоит из боксов для источника напряжения и гибкого элемента, на котором укреплен рефлектор с лампой-вспышкой. Удобство конструкции заключается в том, что подводный исследователь может фотографировать объекты, находящиеся на разных расстояниях от фотокамеры. Меняя под водой положение рефлектора, можно снимать небольшие объекты, расположенные в пределах 1—2,5 м от фотокамеры. Угол рассеяния светового пучка рефлектора выбран равным 65° , это дает возможность надежно освещать предметы размером около 1,5 м на расстоянии 2—2,5 м. Осветитель рассчитан для совместной работы фотокамеры с объективом «Мир-1» без компенсирующей насадки, угол изображения объектива в воде в этом случае равен 43° .

Электрическая схема осветителя выполнена на базе импульсного осветителя «ФИЛ», она дает энергию света, равную 40 дж. Питание электроэнергией осуществляется от четырех батарей КГС-Л-0,5, применяемых для карманных фонарей. Энергии двенадцати элементов этих батарей хватает на экспонирование одной фотопленки с 36 кадрами. Система преобразования низкого напряжения источников питания до высокого напряжения 300 в конденсаторов выполнена на германиевых диодах типа ДГ-Ц-24. Элементы питания из батарей разобщены и вмонтированы в цилиндрический корпус бокса источника освещения.

Зарядка конденсатора в импульсном осветителе производится за 30 сек при сопротивлении цепи 400 ом. Это обстоятельство несколько снижает качество работы прибора. Чтобы произвести съемку со вспышкой, необходимо включить питание осветителя. Переключатель питания в этой схеме монтируется в корпусе бокса аппарата, поэтому доступ к нему возможен лишь в надводных условиях, что также усложняет работу с прибором.

С другой стороны, в данной конструкции удачно решено крепление бокса осветителя к боксу аппарата. На фото видна лампа-вспышка на гибком кронштейне и крепление осветителя к корпусу бокса. В мес-

те соединения осветителя и бокса вводится синхроконт. В момент съемки без вспышки отверстие в корпусе бокса аппарата закрывается пробкой.

Лампа-вспышка, создавая постоянную по плотности освещенность снимаемого объекта, расположенного на заранее подсчитанном расстоянии, намного упрощает работу подводного исследователя. Ему теперь не нужно, находясь под водой, менять экспозицию и часто регулировать шкалу дистанций на объективе.

Все это делает лампу вспышку надежным спутником подводного фотографа.



Фото автора

Специальные виды подводных фотосъемок

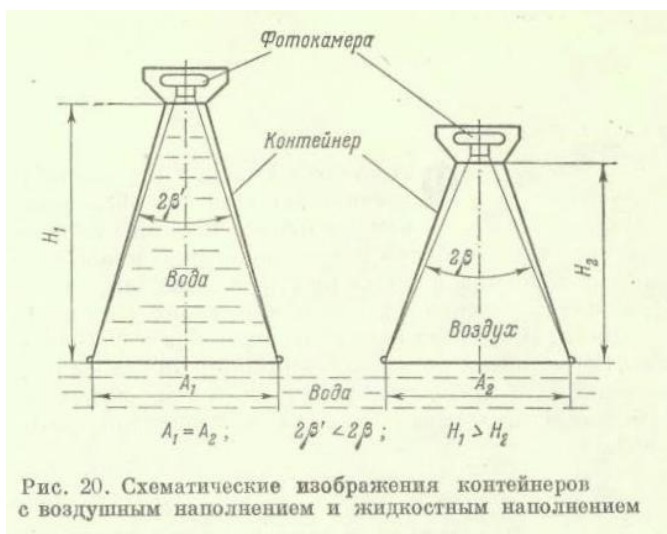
Фотосъемка в воде с низкой прозрачностью в целях обследования гидросооружений, подводных частей судов, кабелей и трубопроводов, проложенных на дне водоемов, а также при подводных спасательных работах возможна только при наличии специальной техники. И один из надежных способов улучшения видимости в таких условиях — применение насадков и контейнеров с прозрачным наполнителем, помещаемых между снимаемым объектом и подводной фотокамерой.

Фотосъемка в воде с низкой прозрачностью

В отечественной и зарубежной практике подводного фотографирования в мутных средах используются насадки, выполненные в форме усеченных пирамид и конусов, наполненных прозрачной жидкостью или воздухом. Существуют контейнеры, изготовленные из монолитных кусков органического стекла. При конструировании таких приспособлений учитывают специфику работ, применяемую оптику, а также среду, наполняющую контейнер.

Жидкостный контейнер

Надежность в работе и простота в эксплуатации — главные положительные стороны контейнера с жидкостным наполнением. В собранном виде этот контейнер легко доставить к месту погружения. Несложен спуск его к мосту съемок: по мере наполнения водопроводной водой из специального сосуда контейнер равномерно погружается на нужную глубину. Важно и то, что жидкостный контейнер легко герметизируется, и



практически нет необходимости его упрочнять: благоприятные прочностные условия создают однородность его внутренней и внешней сред. В свою очередь, одинаковые оптические свойства этих сред влияют на работу осветителей. При съемках с жидкостным контейнером наблюдается равномерность освещения стекла иллюминаторов и отсутствие на нем бликов.

Однако жидкостному контейнеру присущи и некоторые недостатки.

Во-первых, с уменьшением угла изображения объекта в воде приходится увеличивать высоту контейнера (рис. 20).

Во-вторых, съемкам сильно мешает наличие в «чистой» водопроводной воде органических и минеральных примесей. Такая вода вызывает в контейнере помутнение стекол иллюминаторов уже на вторые-третьи сутки работы. Для устранения этого недостатка приходится обрабатывать водопроводную воду либо алюминиевыми квасцами, либо формалином с последующей двухчасовой выдержкой. Это обстоятельство тормозит работу.

Для больших контейнеров в качестве заполнителей можно рекомендовать жидкости, у которых показатель преломления n незначительно отличается от n для воды.

Воздушный контейнер

Пустотелый контейнер по размерам выгодно отличается от жидкостного: при одинаковом иллюминаторе он намного ниже своего собрата (см. рис. 20). Кроме того, при работе с воздушным контейнером отпадает необходимость в дополнительных емкостях для перевозки и хранения жидких заполнителей. Немаловажное значение в работе воздушного контейнера имеет и тот факт, что воздушная среда (в отличие от водной) не загрязняется различными примесями.

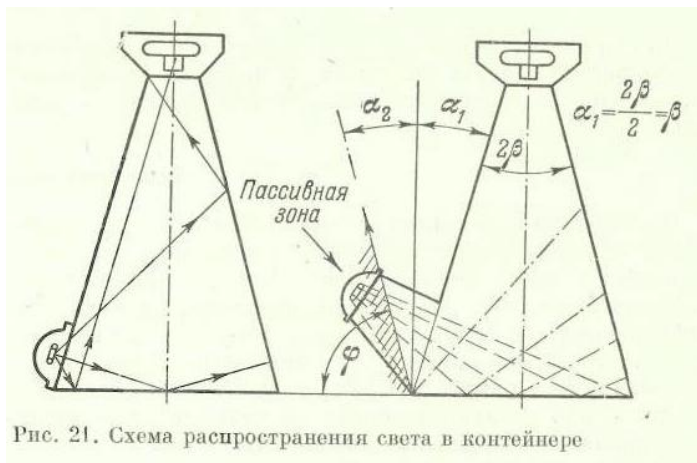
Однако, наряду с положительными качествами у этой системы имеются и значительные недостатки. Так, надежной герметизации требуют места соединений иллюминатора с корпусом контейнера. В противном случае, с увеличением давления воды, по мере погружения на глубину, система даст течь. Во время работы воздушного контейнера наблюдается разность давления во внешней и внутренней средах. Поэтому для уравнивания давления воды и воздуха в контейнере приходится применять особую воздушную автоматическую систему.

Контейнер тяжело входит в воду. Для его затопления приходится использовать значительное количество грузил. Это, в свою очередь, усложняет конструкцию воздушного контейнера и затрудняет его эксплуатацию. Для работы с такой системой требуются высококвалифицированные специалисты.

Рациональное расположение источников освещения в контейнерах

Расположение источников освещения при фотосъемке — один из основных факторов, влияющих на качество снимков.

В качестве примера рассмотрим распределение светового потока в воздушном контейнере.



По закону отражения света падающий луч, отраженный луч и нормаль к границе сред лежат в одной плоскости, а угол отражения i_1 равен углу падения i_2 (см. рис. 9). В данных условиях свет направлен из менее плотной среды в более плотную, и явление полного внутреннего отражения отсутствует. Однако потери светового потока, отраженного от иллюминатора и рассеянного внутри контейнера, будут значительными.

Если потерю светового потока можно компенсировать увеличением мощности источника освещения, то избавиться от бликов на иллюминаторе можно только за счет правильного расположения источников освещения.

На рис. 21 видна зависимость расположения источника освещения от угла падения луча света α и угла поля зрения объектива 2β . Из схем видно, что $\alpha_1 = \beta$ и источник освещения должен быть расположен в заштрихованной зоне.

Заслуживает внимания работа с воздушным контейнером сотрудников Ленинградского гидрометеорологического института А. Майора и В. Джуса. Конструкция контейнера решена ими при оригинальном расположении источников освещения: два самостоя-

тельных источника освещения — импульсные лампы ИФК-120 — освещают противоположные стороны иллюминатора. В конструкции предусмотрены регулируемые заслонки, которые ограничивают поля, освещаемые каждой лампой. Лампы ИФК-120 питаются одним источником и создают одинаковую освещенность на участках иллюминатора. В результате рассеяния света резкой границы на стыке освещенных участков не наблюдалось.

При фотосъемке с контейнером, у которого осветители расположены стационарно, исследователь не может регулировать силу света. Такой контейнер позволяет снимать объекты с заранее рассчитанного и неизменяемого расстояния.

В воде, сильно загрязненной, почти отсутствует естественное освещение. Больше того, это «почти» скрадывается самим контейнером, который во время съемок приходится прижимать к снимаемому объекту. Это обстоятельство значительно упрощает расчет и подбор источников искусственного освещения.

Мощность осветителей подбирают опытным путем в лабораторных условиях, экспериментируя с различными видами фотоматериалов, меняя экспозицию, диафрагмируя объектив или меняя скорость затвора.

В ходе опытной съемки подбираются фотоматериалы, рецепты проявителей и режимы обработки фотоснимков, создаются необходимые условия для съемок.

Экспериментальные типы контейнеров

Группой подводных исследователей «Союзморнии-проекта» в январе — марте 1962 г. в лаборатории ЦНИИСа МПС были проведены опыты по фотосъемке в загрязненной воде. Для работ был использован контейнер, наполненный дистиллированной водой.

Контейнер, изготовленный в ЦНИИСе, представляет собой полую, усеченную пирамиду, высотой 510 мм (рис. 22). Большее основание пирамиды — иллюминатор, выполненный из органического стекла размером 250 X 350 мм. Толщина иллюминатора 10 мм, он уплотнен резиновыми прокладками. Малое основание контей-

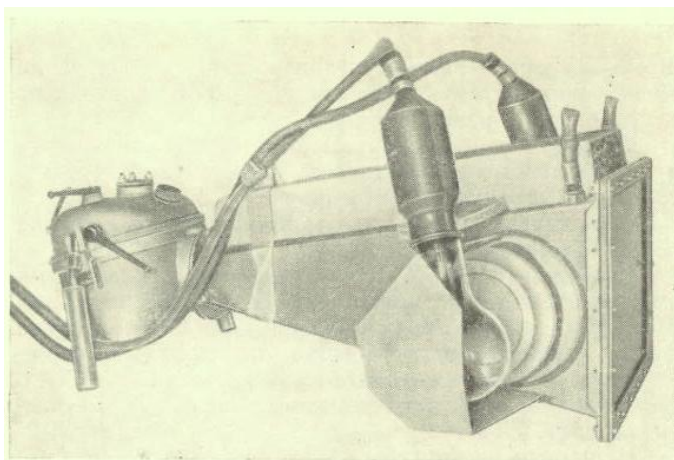


Рис. 22. Внешний вид контейнера с жидкостным наполнением
изготовленного в ЦНИИСе МПС

Фото автора

нера крепится непосредственно к боксу фотокамеры и также герметизируется резиновой прокладкой.

Корпус контейнера (клепаная, со спаянными соединениями конструкция) изготовлен из листовой нержавеющей стали толщиной 1 мм. На боковых стенках насадки смонтированы цилиндрические иллюминаторы для подсветки.

Опытная фотосъемка производилась в лотке, наполненном загрязненной водой, прозрачность которой по белому диску была менее 10 см. Контейнер погружался в лоток на глубину 5—7 см. Иллюминаторы подсветки, в этом случае, оставались в воздушном пространстве. Такое положение иллюминаторов давало возможность производить фотосъемку с различными источниками освещения: лампами накаливания мощностью 100 и 75 *вт* и импульсными лампами ИФК-120.

В программу экспериментов входили: выбор мощности и рода источников освещения; выбор рационального расположения источников освещения; подбор наилучшей физической среды для заполнения контейнера.

В опытах также рассматривались вопросы получения качественных снимков, надежности работы контейнера и простоты в обращении с ним.

Фотосъемку вели фотокамерами «Старт» и «Зенит» с зеркальными видеоискателями, снабженными короткофокусным объективом «Мир-1».

Проведенные эксперименты позволили сделать ряд интересных выводов.

Оказалось, что для модели контейнера с данными размерами световой поток от двух импульсных ламп ИФК-120 с источниками питания «Луч-59» чрезмерно велик. Такая система освещения была проверена на негативной фотопленке со светочувствительностью 65 ед. ГОСТ при минимальном значении диафрагмы объектива «Мир-1», равном 22.

Применять импульсные источники освещения — лампы ИФК-120 — можно в этом случае только при пропускании света через матовый рассеивающий фильтр. Хорошие результаты были получены при фотографировании через рассеивающий фильтр лампами накаливания мощностью 100 вт. Лампы мощностью в 75 вт с применением рассеивающего светофильтра оказались маломощными. Опыты показали, что при выборе места расположения источника освещения необходимо учитывать физические данные среды, заполняющей контейнер.

В воздушном контейнере источник освещения необходимо располагать в зоне, ограниченной углом φ (см. рис. 21). В этой же зоне должен находиться и рассеивающий иллюминатор с матовой поверхностью.

В контейнере, наполненном водой, при расположении источника освещения и рассеивающего иллюминатора в активной зоне, плотность отраженного изображения — незначительна. С этим приходится мириться при создании маленького по размеру контейнера.

Правильное расположение источников освещения как в воздушном, так и в жидкостном контейнере — одно из основных требований при их проектировании.

Результаты экспериментов полностью подтвердил теоретические предположения. Хорошее качество подводных снимков, простота конструкции и надежность работы жидкостного контейнера сыграли свою роль. При

конструировании новой аппаратуры было решено остановиться на этом виде.

Поначалу модернизировали малый контейнер ЦНИИСа, причем для удобства маневрирования под водой его строительный вес уравновесили плитой пенопласта. В 1962 г. он прошел испытания в различных портах страны. С его помощью были обследованы причалы и другие гидротехнические сооружения. Исследователям удалось в сложных условиях сфотографировать трещины на колоннах-оболочках.

Снимаемый объект мы освещали лампами накаливания СЦ-82 мощностью 100 *вт* каждая. Лампы крепились к кронштейнам и закрывались рефлекторами. Рефлекторы предохраняли лампы от разрушения и направляли световой ниток в сторону снимаемого объекта.

Вскоре после окончания испытаний сотрудниками группы подводных исследований «Союзморниипроекта» были разработаны и спроектированы несколько усовершенствованных образцов контейнеров для фотографирования в воде с низкой прозрачностью.

В основе их лежала схема контейнера ЦНИИСа МПС. Однако в новых конструкциях было изменено расположение источников освещения и увеличены размеры приборов. При проектировании предполагалось, что съемки через эти контейнеры будут вестись объективами «Гидроруссар 5А», поэтому высота новых конструкций (при достаточно больших размерах поля съемки — иллюминаторах) получилась небольшая. Один из таких контейнеров планировалось использовать для стереосъемки. При незначительной высоте (850 *мм*) он имел размер переднего иллюминатора, равный 1410 X 920 *мм*.

Подводная стереофотосъемка

Области применения подводной стереофотосъемки

Стереоскопические изображения — фотографии и диапозитивы называются стереопарами. Их получают с помощью стереофотокамер, имеющих два объектива, а также переоборудованными однообъективными аппаратами.

Визуальное наблюдение стереоскопической фотографии или диапозитива значительно отличается от наблюдения обычной, плоской фотографии. Поэтому для восприятия объемного изображения, т. е. для получения стереоэффекта, применяются специальные приспособления и приборы — стереоскопы и стереопроекторы.

Кроме чисто визуального восприятия изображения, получаемого по стереопарам при наблюдении их с помощью стереоскопа или стереопроектора, существуют графические способы обработки стереопар. Обработка стереопар на высокоточных стереофотограмметрических приборах — стереокомпараторах, получают измерения продольных и поперечных параллаксов. Результаты таких измерений характеризуются большой степенью точности, достигающей до нескольких микрон.

С момента появления стереоскопической фотографии прошло не так уж много времени. Однако она с успехом применяется и при аэрофотосъемке, и в астрономии, биологии, кристаллографии, медицине, сельском хозяйстве и т. д.

Возникнув как один из видов специальной подводной фотографии, подводная стереофотосъемка весьма быстро завоевала широкое признание специалистов разных различных областей науки.

В настоящее время она используется при подводных обследованиях гидротехнических сооружений, для фотографирования глубоководных объектов во время океанографических работ и т. д. С помощью подводной стереосъемки (лабораторной или натурной) получают объемную динамическую характеристику разнообразных водных потоков, определяют их особенности и скорости. С этой целью в заданной последовательности делаются серии стереофотографий опытных водных потоков со взвешенными в них индикаторами — плывущими частицами, специально пущенными в воду. Важную роль играет подводное стереофотографирование и при исследовании явлений кавитации перемещающихся под водой предметов, работающих винтов. Цветные стереоснимки донных поверхностей всевозможных водоемов, сделанные на разных глубинах, в сочетании с пробами грунта этих мест представляют большой интерес не только для геологов, но и для биологов.

О значении стереофотосъемки в научных исследованиях говорят и опыты В. С. Лощилова, изучавшего морской ледяной покров. Используя метод подводной стереофотографии, ученый весной 1956 г. произвел съемку рельефа нижней (подводной) поверхности льда. Полученные стереоснимки помогли ему найти качественную и количественную взаимосвязь рельефа поверхности ледяного покрова и его средней мощности...

В зависимости от характера снимаемого объекта стереофотосъемка производится однообъективной или двухобъективной камерой.

Подводная стереосъемка подвижных объектов должна производиться с минимальной экспозицией двухобъективной фотокамерой.

Неподвижные объекты — различные виды гидротехнических сооружений, затонувшие суда, повреждения в подводной части действующих судов — могут быть сфотографированы и одной камерой. Во время такой съемки фотоаппарат, установленный на специальном устройстве, перемещается относительно двух заранее выбранных точек. Это может быть выполнено вручную или при помощи автомата. Однако применение этого метода ограничивается необходимостью перемещения под водой фотокамеры, установленной на специальном устройстве.

Стереофотографированию бывает мелководным и глубоководным (на глубине более 100 м). Глубоководная стереофотосъемка возможна только при искусственном освещении.

Параметры стереофотосъемки

Прежде всего для получения стереоэффекта необходимо учитывать построение кадра, т. е. расположение снимаемых предметов, находящихся на разных расстояниях от фотоаппарата. В этом случае правильная передача объема, иначе говоря, протяженность снимаемого объекта по глубине, имеет первостепенное значение. Объем на стереоснимках может быть передан поразному. Он будет зависеть от величин используемых параметров стереосъемки.



Основные параметры стереосъемки:

а) стереоскопический базис B , называемый просто базис. Под базисом подразумевается расстояние между оптическими осями объективов (рис. 23);

б) фокусное расстояние объективов f ;

в) расстояние от плоскости фотонегативного материала до снимаемого объекта L . Передняя граница снимаемого объекта L_1 , задняя граница L_2 .

Все эти параметры определяют величину параллакса P , т. е. сдвига одноименных точек изображения на стереоснимках. Величина P создает стереоэффект при раздельном рассмотрении стереопар или определяет его при обработке изображений на стереокомпараторе.

Объемное изображение, при правильных соотношениях параметров, пропорционально по размерам действительному. При неправильных соотношениях параметров стереоизображение может получиться растянутым или сжатым вдоль оптической оси.

Зависимость между основными параметрами стереосъемки выражается формулой:

$$P = B \cdot f / L \text{ мм.} \quad (13)$$

Теоретическим и опытным путями получена зависимость между базисом B и расстоянием L до передней границы снимаемого объекта. Эта зависимость выражается формулой:

$$B = L / 50. \quad (14)$$

Из этой формулы определяется расстояние L до снимаемого объекта:

$$L = 50 \cdot B. \quad (15)$$

После преобразования формул получается выражение параллакса P , связанное с фокусным расстоянием объектива:

$$P = f / 50. \quad (16)$$

При стереосъемках двухобъективными фотокамерами с постоянным стереобазисом B нетрудно определить минимальное расстояние от плоскости негатива фотокамеры до снимаемого объекта. В качестве примера возьмем отечественную стереофотокамеру «Спутник», используемую в настоящее время для подводной стереосъемки. Камера рассчитана на широкую пленку и имеет размер кадра 6×6 см. Фокусное расстояние основных объективов «Спутника» $f = 75$ мм; базис фотокамеры $B = 65$ мм. Сопоставив перечисленные величины, легко подсчитать, что $L = 3250$ мм.

Величина параллакса P при таком значении L будет равна $1,5$ мм.

Результаты фотосъемки подводных объектов с расстояния более пяти метров, как правило, оказываются неудовлетворительными. В этом случае будет отмечена невысокая четкость изображения и слабая цветопередача: подводная дымка и расстояние снизят их качество.

Как уже говорилось, фокусное расстояние объективов, работающих в водной среде, при переходе лучей света через плоско-параллельную пластину изменяется. Фотообъектив Т-22 камеры «Спутник» с фокусным расстоянием $f=75$ мм в воде работает как объектив

с фокусным расстоянием $f_g = 100$ мм. Максимальный параллакс P в этом случае равен 2 мм. Правда, не сколько увеличится стереоэффект. Но он вполне допустим для визуального наблюдения.

В условиях подводной съемки для камеры «Спутник» можно рекомендовать минимальное расстояние $L = 1,5$ м. Исходя из этого, P составит 4,33 мм. Эта величина параллакса значительно увеличена, и стереоэффект получится сильно искаженным. При визуальном наблюдении таких стереопар детали изображения могут казаться во много раз выпуклее, чем в действительности.

Некоторые специалисты стереосъемок при определенном навыке рассматривания снимков специально усиливают стереоэффект, уменьшая L . Однако следует учитывать, что при выборе расстояния меньше рекомендуемого необходимо плоскость негативного фотоматериала располагать строго параллельно относительно снимаемого объекта.

При съемках стереопар, производимых однообъективной камерой, можно сохранить величину параллакса P не более 2 мм. С этой целью уменьшают стереобазис B . В этом случае пользуются устройством, перемещающим фотокамеру перпендикулярно оптическим осям на заранее подсчитанную величину базиса. При расстоянии $L_1 = 1,5$ м стереобазис B для правильного стереоэффекта такой системы не должен превышать 30 мм.

Стереофото съемку технических объектов в условиях, когда прозрачность воды достигает 20 м и более (по стандартному диску) можно производить специальными фотокамерами.

В. С. Лошилов, проводя исследования нижнего строения ледяного покрова методом стереофото съемки, пользовался фотокамерами типа «ДК» фирмы Цейс.

Стереофотокамера «ДК» имела базис $B = 1,2$ м, состояла из двух строгих фотограмметрических аппаратов, объективы имели относительные отверстия 1: 12,5 и фокусные расстояния $f = 57,10$ мм. Размер кадра равнялся 5 X 7,5 см, плоские кассеты заменялись специально изготовленной роликовой пленочной кассетой, рассчитанной на 40 кадров. Вмонтированная

в герметизирующий бокс (рис. 24) камера имела синхронное управление затворами объективов и автоматическую перемотку пленки.

Исследователь привел подробный расчет строгих стереометрических координат и дал определение их точности при условии прохождения света через плоский раздел вода — стекло — воздух. Обработывая снимки на стереокомпараторе, он вычислил пространственные координаты. При этом Лоцилов утверждал, что такие вычисления сложнее подобных вычислений при обработке обычной односредной стереосъемки.

Стереοфотографирование на больших глубинах производится специальными фотокамерами-автоматами, заключенными в боксы. Последние выдерживают огромное давление воды, которое нередко достигает нескольких тысяч килограммов на 1 см^2 поверхности прибора. Конструкции таких боксов разрабатываются институтами АН СССР и проходят испытания в океанографических экспедициях.

Существующие виды герметизирующих боксов для стереοфотографии в силу своей специфики не имеют оптического устройства наводки на резкость и оптического видоискателя. Применение в таких боксах рамочного видоискателя вызывает параллакс, намного снижающий качество снимка, а также (чаще при съемках на небольших глубинах) — неправильное кадрирование и ошибки в определении метража. Эти недостатки, полученные боксами без видоискателей, обычно обнаруживаются только при лабораторной обработке негативов.

Дальнейшее развитие подводной стереοфотографии поставило перед конструкторами задачу создания фотобокса, позволяющего снимать под водой с помощью зеркального видоискателя. Такой бокс для аппарата «Спутник» был разработан автором этой книги совместно с сотрудниками группы подводных исследований «Союзморниипроекта».

Герметизирующий фотобокс аппарата «Спутник» (рис. 25) предназначен для подводной стереοфотосъемки на глубинах до 100 м. Бокс, в отличие от существующих конструкций, имеет треугольное стекло главного иллюминатора, дающее возможность пользоваться при стереοфотосъемке всеми тремя объективами камеры:

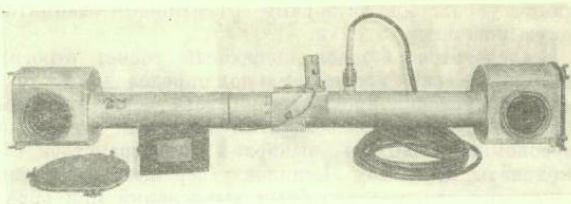


Рис. 24. Общий вид прибора для стереосъемки, которым пользовался В. С. Лоцилов при стереосъемках под водой нижней поверхности ледяного покрова

Фото В. С. Лоцилова

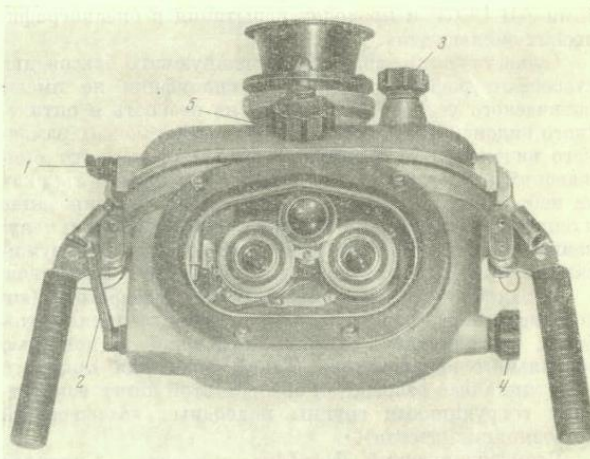


Рис. 25. Внешний вид герметизирующего бокса для стереофотоаппарата «Спутник»

1— рычаг для завода пружины затвора; 2—рычаг спуска пружины затвора; 3—рукоятка для перемотки пленки; 4— рукоятка для регулирования диафрагмы; 5— рукоятка привода для фокусирования объективов

Фото автора

объективом оптического видоискателя и двумя основными объективами. Есть в боксе и устройство для оптической наводки фотокамеры на объект и кадрирования через оптический видоискатель.

Бокс состоит из корпуса и крышки, соединенных через резиновую прокладку с герметизирующей канавкой. Корпус и крышка соединяются эксцентричными замками с регулируемыми зажимными крючками. Зажимы вмонтированы в рукоятки для транспортировки и позволяют надежно и быстро запирать и отпирать бокс. Крючки запоров контрятся шплинтами, что предохраняет бокс от разгерметизации. Корпус и крышка бокса литые, выпуклые. На их внешних поверхностях установлены приводы управления, обеспечивающие регулировку наиболее важных устройств фотоаппарата: диафрагм объективов, взвода затвора, спуска пружины затвора и перемотки пленки.

Бокс для широкоплечной стереофотокамеры «Спутник» был испытан автором летом 1963 г. в Черном море. Во время съемок все системы управления фотоаппаратом работали нормально. Больше того, с помощью опытной конструкции исследователи легко получали не только стереопары, но и обычные фотоснимки. Такие возможности аппарата «Спутник» и бокса для него позволяют рекомендовать их для широкого применения при съемках под водой



Подводные исследователи-фотографы
во время зимнего погружения в воду

Фото автора

Заключение

Подводная фотосъемка на глубинах, доступных аквалангисту,— дело трудное, но очень нужное не только для прогресса науки, но и для развития народного хозяйства. Вот почему так бурно развивается теория подводной фотографии. За последние годы накоплен большой опыт работы с оптикой и светочувствительными фотоматериалами.

Условия фотосъемки в разных морях, в разное время года, при различном освещении, конечно, неодинаковы. Трудно установить на каждый случай правила поведения при погружении, порядок съемки и т. д. Поэтому автор старался дать основные советы — как подобрать необходимую аппаратуру, фотобоксы и т. д. Сейчас же осталось сделать некоторые обобщения методики подводного фотографирования.

При подводной фотосъемке всегда не хватает контраста. Необходимо поэтому, не полагаясь на субъективное восприятие, выбирать наиболее контрастное сочетание между снимаемым объектом и фоном. Если объект съемки темный, необходимо снимать на светлом фоне поверхности воды снизу вверх. Светлый объект лучше фотографировать на темном фоне грунта или на фоне толщи воды, уходящей вглубь.— сверху вниз. Вследствие цветопередачи под водой, отличной от надводной, не рекомендуется проводить цветную фотосъемку при естественном освещении на глубинах более 6 м. Глубже 6 м цветная пленка не сможет передать то ничтожное количество красочных лучей, которое там остается. Не следует также снимать в пасмурный день. Цветные сюжеты лучше снимать с искусственным освещением.

Жанровые сцены желательно фотографировать совместно с группой товарищей. Человек оживляет подводный ландшафт. Подводный пловец может служить масштабом на снимке. Пловца в темном гидрокостюме выгодно снимать на фоне светлого песчаного дна или

светлой поверхности воды. Для подводных съемок желательно выбирать светлый костюм пловца. Снимки такого рода могут быть хорошими и при верхней и при нижней позициях фотографа.

Водных животных следует снимать в естественной обстановке, но нельзя забывать о том, что человек в воде — гость. Обитатели подводного мира отлично маскируются, это иногда заставляет фотографировать их в искусственно созданных условиях.

Подводная съемка мелких предметов (в этом случае используются насадочные кольца) дает отличные результаты как при цветном, так и при черно-белом фотографировании. В этом случае наиболее желательно применение зеркальных фотокамер. Можно применять масштабные рейки, точно определяющие расстояние от снимаемого объекта до фотокамеры.

Для подводных Фотосъемок, как правило, используют короткофокусные, широкоугольные объективы. Следует помнить, что изображения, снятые с близкого расстояния — 0,5—0,8 м от фотокамеры (при размере объекта в длину не менее 1,5 м), получаются непривычными для человеческого взгляда. Пропорции изображения кажутся искаженными. Поэтому, пользуясь короткофокусными объективами для съемок под водой, не следует забывать о привычном или непривычном для глаза человека изображении.

Подводное фотографирование в северных морях требует тщательной подготовки. Холодная вода вызывает замедленную реакцию подводного фотографа и сковывает движения пальцев рук. Снимать сюжеты в этих случаях рекомендуется несколько раз, дублируя кадры. Большое огорчение вызывают при проявлении нерезкие и неправильно откадрированные изображения.

Подводный аппарат для съемок в воде с температурой ниже +14 - 16° должен быть снабжен удобными и достаточно большими ручками управления: резиновые перчатки гидрокостюма намного снижают чувствительность пальцев рук.

Отправляясь в экспедицию, в которой намечаются подводные фотосъемки, нужно иметь оборудование для походной фотолaborатории. Совершенно необходимо во время экспедиции проводить контрольное проявление

ние фотопленок, такие пробы вскрывают ошибки и повышают качество съемок. Если экспедиция проводится летом на юге, то необходимо иметь химикаты для составления тропического проявителя и дубящего фиксажа. Коробки с фотопленкой необходимо тщательно запаковывать и хранить под влажной тканью, в этом случае фотоэмульсия пленки будет сохранена.

Необходимо хорошо знать сорта пленок и рецепты проявителей, наиболее пригодных в подводной фотографии.

Изопанхроматические пленки высокой чувствительности наиболее полно отвечают требованиям подводной фотосъемки. Негатив А-2, чувствительностью 180—250 ед. ГОСТ отличается мелкозернистостью и достаточно контрастным изображением.

Негатив ДК — более чувствителен (350 ед. ГОСТ), но дает крупнозернистое изображение; этот сорт пленки может быть применен в исключительных случаях при пониженной освещенности. Фотонегатив АМ чувствительностью в 65 ед. ГОСТ характерен мелкозернистым изображением, его можно применять при съемках на южных морях, имея хорошую освещенность объекта.

Проявлять фотонегативный материал нужно мелкозернистыми и контрастно работающими проявителями. Можно рекомендовать проявители на основе метола и гидрохинона: Д-76 с бурой, ТУ-1709, Агфа-40, кодак Д-82. Для работы при температуре раствора +24 – 28° можно использовать тропический проявитель по рецепту Агфа-16 *.

При цветном подводном фотографировании хорошо использовать негативные трехслойные пленки ДС-2 (светочувствительностью от 32 до 45 ед. ГОСТ) и ДС-3 (светочувствительностью от 45 до 65 ед.).

Большое внимание при подготовке к подводной съемке нужно уделять и фотобоксу. К сожалению, наша промышленность пока еще недостаточно широко освоила производство боксов для подводного фотографирования. Поэтому среди начинающих подводных фотографов получили распространение самодельные фотобоксы, из-

* Рецепты можно найти из «Справочника фотолюбителя». М., изд-во «Искусство», 1962.

готовленные из резины, оргстекла, жести, дерева и других доступных материалов. Кустарная фотоаппаратура, создаваемая любителями, выполняется, как правило, на низком техническом уровне и очень часто без учета оптических свойств объективов. Во время эксплуатации таких боксов возможно повреждение дорогих фотокамер или неполное использование их конструктивных особенностей.

Автор надеется, что опыт подводного фотографирования, приобретенный им в процессе работы в экспедициях, а также опыт создания подводной фотоаппаратуры, с которым знакомит эта книга, будет полезен не только исследователям, но и любителям подводной фотографии.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица

1 Наибольшая глубина видимости стандартного белого диска

Водный район	Прозрачность по стандартному белому диску,	Примечание
Горло Белого моря . . .	~6	После свежей погоды После тихой погоды
Средняя часть Белого моря	~8	
Балтийское море . . .	~7–10	
Балтийское море	~11–13	
Британский канал .	6–22	В полосе юго-восточного пассата В полосе юго-восточного пассата В полосе северо-восточного пассата
Южная часть Каспийского моря	9–11	
Черное море	28	
Средиземное море	20–60	
Индийский океан	40–50	
Тихий океан	до 45	
Тихий океан	до 59	
Саргассово море	66,5	

Таблица 2

Зависимость ведущего числа от светочувствительности материала мощности и источника освещения

Светочувствительность материала в ед. ГОСТ	Ведущие числа фотовспышек			
	«Луч-57»		«ФИЛ»	«Мол-ния»
	40 дж	60 дж		
45	16	20	32	17
65	19	24	36	20
90	23	29	45	24
130	26	33	54	28
180	31	40	63	33
250	37	47	72	39
350	44	56	90	47

Таблица 3
Относительные изменения величины экспозиции
при разных диафрагмах

Диафрагма	2	2,8	4	5,6	8	11	16
Относительные величины экспозиции	64	32	16	8	4	2	
	32	16	8	4	2	1	
	16	8	4	2	1		
	8	4	2	1			
	4	2	1				
	2	1					
	1						

Таблица 4
Кратность светофильтров

Светофильтр		Тип пленки	
цвет	марка	панхром, изопанхром	ортохром
Желтый	ЖС-12	1,5	3,0
Темно-желтый	ЖС-18	2,0	6,0
Оранжевый	ОС-12	2,5	12,0
Красный	КС-10	5,0	
Голубой	СС-1	2,0	1,5
Синий	СС-4	3,0	2,0

Таблица 5
Данные некоторых объективов, используемых для
подводной съемки

Тип объектива	Фокусное расстояние, f мм	Угол изображения на воздухе 2β в градусах	Угол изображения в воде $2\beta'$ в градусах	Величина относительного отверстия
«Мир-1*»	37	60	45	1:2,8
«Юпитер-12»	35,7	63	47	1:2,8
«Мир-3»	66	65	49	1:3,5
«Орион-15»	28	75	56	1:6
«Руссар МР-2»	19,5	95	70	1:5,6
«Гидроруссар 1»	40,8		62	1:10
«Гидроруссар 2»	47,0		81,5	1:10
«Гидроруссар 3»	19,5		70	1:5
«Гидроруссар 4»	95,6		68	1:10
«Гидроруссар 5»	19,5		70	1:4

ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ 7601-56, Физическая оптика. Обозначение основных величин.

Нерезкий В. С., Гершун А. А., Янишевский Ю. Д. Прозрачность и цвет моря. М., изд-во Военной академии им. Ворошилова, 1940.

Кудряшов Н. Н., Гончаров Б. А. Специальные виды фотосъемки. М., изд-во «Искусство», 1959.

Лоцилов В. С. Метод подводной стереофотосъемки в океанографических исследованиях.— Проблемы Арктики, 1957, № 2.

Ногин П. А. Фотографический объектив. М., изд-во «Искусство», 1962.

Русинов М. М. Фотограмметрическая оптика. М., изд-во «Геодезиздат», 1962.

Рогов А. А. Подводное фотографирование с искусственным освещением,— В сб.: В помощь спортсмену-подводнику, вып. 1. М., изд-во ДОСААФ, 1962.

Соколов О., Ажажа В. Подводная киносъемка. М., изд-во «Искусство», 1962.

Симонов А. Г. Фотографирование при искусственном освещении. М., изд-во «Искусство», 1959.

Хлудова О. Ф. Из опыта фотографирования под водой.— Труды Океанографической комиссии, т. XIV. М., изд-во АН СССР, 1962.

Шулейкин В. В. Физика моря. М., Изд-во АН СССР, 1953.

Шенк Г., Кендалл Г. Подводная съемка (перев. с англ.). М., изд-во «Искусство», 1960.

Richter Hans-Ulrich. Unterwasser-Fotografie und Fernsehen. Leipzig, 1960.

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	5
С фотокамерой под воду	8
Оптические свойства водной среды и законы распространения в ней света	18
Выбор объектива для подводной фо- тографии.....	42
Подводная фотосъемочная аппара- тура	56
Специальные виды подводных фото- съемок	78
Заключение	96
Приложение	101
Литература	103

Александр Александрович РОГОВ

Фотосъемка под водой

*Утверждено к печати Редакцией
научно-популярной литературы
Академии наук СССР*

Редактор издательства В. П. Большаков
Художник-оформитель Н. А. Седельников

Художественно-техническая редакция А. Я. Ефимовой

Сдано в набор 16/1 1964 г.

Подписано к печати 9/V 1964 г.

Формат 84X108¹/₃₂- Печ. л. 3,25+6 вкл.-

5,33+6 вкл. усл. неч. л.

Уч.-изд. л. 4,8(4,10,7)

Тираж 40000 низ. Т-07710. Темплан № 81 1964 г.

Изд. № 2484. Зак. № 147

Цена 22 коп.

Издательство «Наука»

Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука»

Москва, Г-99, Шубинский пер., 10